

Università degli studi di Pisa

Scuola di Ingegneria

Corso di Laurea in Ingegneria Aerospaziale

Tesi di Laurea Magistrale

***Analisi degli strumenti di morphing di ANSA®
per l'Ottimizzazione Aerodinamica***



Relatori:

Prof. Ing. Giovanni Lombardi

Ing. Federico Cartoni

Ing. Marco Maganzi

Ing. Enrico Cardile

Candidato:

Federico Bastianini

Luglio 2014

Sommarior

Scopo di questa Tesi è la realizzazione di una procedura di ottimizzazione aerodinamica per il posteriore dell'autovettura stradale Ferrari F142, meglio nota come Ferrari 458 Italia.

Unico obiettivo dell'ottimizzazione è minimizzare la resistenza aerodinamica; si devono monitorare però anche eventuali variazioni di altri parametri aerodinamici della vettura come l'efficienza aerodinamica e il bilanciamento.

Questa tesi si concentra per buona parte sull'indagine dei vari strumenti che mette a disposizione il software ANSA® per la modifica delle geometrie, detti di morphing.

In tale indagine si ricercano strumenti di morphing che possano funzionare in maniera automatizzata, tramite parametri, come è necessario per realizzare un'ottimizzazione.

La risoluzione del problema fluidodinamico, necessaria per il calcolo della resistenza aerodinamica, per le varie configurazioni che vengono generate, è fatta tramite il noto software CFD Fluent®.

Tramite il software ModeFRONTIER® invece, che contiene al suo interno gli algoritmi genetici e gli strumenti statistici necessari per realizzare la procedura di ottimizzazione, è condotta l'analisi dei risultati per le configurazioni generate e più in dettaglio per quella vincente.

Si traggono infine conclusioni sui risultati ottenuti, sul lavoro svolto e su possibili impieghi futuri di questa procedura.

Indice

Sommarario	3
Introduzione.....	8
Capitolo 1: ANSA®	12
Capitolo 2: Fluent Mesher®	29
Capitolo 3: Fluent Solver®	33
Capitolo 4: ModeFRONTIER®	41
Capitolo 5: Analisi di Sensibilità	56
Capitolo 6: Analisi dei Risultati.....	61
Capitolo 7: Conclusioni.....	84
Capitolo 8: Sviluppi Futuri	85
Bibliografia	86

Indice delle Figure

Figura 0.1: Ferrari 458 Italia (vista anteriore).....	9
Figura 0.2: Ferrari 458 Italia (vista posteriore).....	10
Figura 1.1: Logo distintivo del software ANSA®	12
Figura 1.2: Esempio di MORPHING BOXES	13
Figura 1.3: Esempio di MORPHING 2D	14
Figura 1.4: Esempio di MORPHING 1D	15
Figura 1.5: Dominio della vettura in formato .ansa	16
Figura 1.6: Mesh superficiale della vettura in ANSA	17
Figura 1.7: Dettaglio mesh superficiale della vettura	18
Figura 1.8: Posteriore Ferrari 458 Italia.....	18
Figura 1.9: PID (verde) scelto per il morphing (MORPID).....	19
Figura 1.10: Linee rosa di morphing	19
Figura 1.11: Elementi caricati negli 1D MORPH	20
Figura 1.12: Esempio parametro DIRECT>TRANSLATE>MORPH PNTs.....	20
Figura 1.13: Parametri di MORPHING	22
Figura 1.14: Dettaglio bordo lunotto.....	23
Figura 1.15: Linee di morphing simmetriche.....	24
Figura 1.16: Esempi di morphing dello spoiler	25
Figura 1.17: Optimization task.....	26
Figura 1.18: Espressione dei Parametri di morphing	27
Figura 2.1: Mesh del dominio su Fluent Mesher®	29
Figura 2.2: Mesh del dominio ingrandita su Fluent Mesher®	30
Figura 2.3: Mesh dell'auto su Fluent Mesher®	30
Figura 2.4: Zone fluide radiatori acqua e condensatore e gruppo ruota anteriore	31
Figura 2.5: Zone fluide gruppo ruota posteriore	31
Figura 2.6: Zona fluida radiatore olio	32
Figura 3.1: Dominio in Fluent Solver®	36
Figura 3.2: Auto in Fluent Solver®	36
Figura 3.3: Forze Aerodinamiche.....	38
Figura 3.4: Correzione effetto radiatori.....	39
Figura 4.1: Architettura dell'ottimizzazione	42
Figura 4.2: Differenza tra algoritmo Random e Sobol	42
Figura 4.3: Proprietà DOE	43
Figura 4.4: Algoritmo genetico	44
Figura 4.5: Proprietà Algoritmo Genetico	44
Figura 4.6: Proprietà variabile di input	45
Figura 4.7: Proprietà vincolo penetrazione	46
Figura 4.8: Proprietà nodo ANSA.....	47
Figura 4.9: Template del file di output	47
Figura 4.10: Proprietà vincolo skewness	48
Figura 4.11: Proprietà Transfer File	49
Figura 4.12: Proprietà support file journal Fluent Mesher	49
Figura 4.13: Proprietà nodo SSH Fluent_Run	50
Figura 4.14: Script del nodo SSH Fluent_RUN	51

Figura 4.15: Proprietà nodo Excel	52
Figura 4.16: Foglio di Excel per la correzione dei coefficienti	53
Figura 4.17: Macro di Excel per la correzione dei coefficienti	53
Figura 4.18: Nodo obbiettivo.....	54
Figura 4.19: Queue start	54
Figura 5.1: CD per la simulazione GR110	57
Figura 5.2: CL per la simulazione GR110.....	57
Figura 5.3: CM per la simulazione GR110	57
Figura 5.4: Analisi di sensibilità.....	59
Figura 6.1: Scatter chart DV1 DV2	61
Figura 6.2: Bubble chart DV1 DV2 C_D E.....	62
Figura 6.3: History chart C_D	63
Figura 6.4: Scatter chart C_D C_L	63
Figura 6.5: RSM 3D chart C_D	64
Figura 6.6: RSM 3D chart C_L	65
Figura 6.7: RSM 3D chart C_M	66
Figura 6.8: RSM 3D chart efficienza.....	67
Figura 6.9: RSM 3D chart bilanciamento	68
Figura 6.10: MORPID modificato	71
Figura 6.11: Spoiler modificato.....	71
Figura 6.12: C_p sulla vettura (vista di 3/4)	73
Figura 6.13: C_p sulla vettura (vista frontale).....	74
Figura 6.14: C_p sulla vettura (vista laterale)	75
Figura 6.15: C_p sulla vettura (vista dall'alto).....	76
Figura 6.16: C_p sulla vettura (vista dall'alto).....	77
Figura 6.17: C_p sulla vettura (vista posteriore).....	78
Figura 6.18: C_p sul MORPID (vista dall'alto).....	79
Figura 6.19: C_p sul MORPID (vista di 3/4)	80
Figura 6.20: Pressione totale sul piano di simmetria (Pa)	81
Figura 6.21: Pressione totale sul piano di simmetria zona auto (Pa)	82
Figura 6.22: Modulo delle vorticità sul piano di simmetria zona MORPID (s^{-1})	83

Indice delle Tabelle

Tabella 1.1: Dimensioni dominio di calcolo	17
Tabella 3.1: Condizioni al contorno	35
Tabella 3.2: Condizioni zone fluide	35
Tabella 3.3: Parametri simulazione	37
Tabella 5.1: Caratteristiche configurazioni analisi di sensibilità	56
Tabella 5.2: Risultati andamento CD	58
Tabella 5.3: Risultati andamento CL	58
Tabella 5.4: Risultati andamento CM	58
Tabella 6.1: Risultati configurazioni generate	69
Tabella 6.2: Confronto risultati con diverso numero di celle	72

Introduzione

Le procedure di ottimizzazione aerodinamica tramite CFD che fino a pochi anni fa erano utilizzate soltanto per l'analisi di singoli componenti, profili alari o geometrie molto semplici, grazie all'aumento delle capacità di calcolo dei computer e al miglioramento dei programmi per la modifica della geometria, adesso iniziano ad essere utilizzate anche per geometrie più complesse come intere automobili o barche.

Gli algoritmi genetici che sono integrati nei programmi per l'ottimizzazione permettono di risparmiare molto tempo perché, grazie a questi, non è necessario simulare tutte le combinazioni dei parametri scelti per l'ottimizzazione, dato che questi algoritmi riescono ad individuare quali sono i cromosomi di ciascuna combinazione di parametri che permettono di avvicinarsi all'obiettivo scelto e inserirli nelle combinazioni delle generazioni successive per raggiungere il prima possibile la condizione di minimo o di massimo ricercata.

Le rinnovate potenzialità dei calcolatori e lo sviluppo dei codici CFD, in programmi come Fluent®, al fine di diminuire i tempi di convergenza delle soluzioni permettono di realizzare in tempi ragionevoli simulazioni di modelli sempre più complessi con un'accuratezza elevata.

Grazie a ciò è possibile effettuare insiemi di simulazioni, per poi confrontare i risultati ottenuti, alla ricerca di una geometria migliore di quella di partenza.

Per questo lavoro di tesi risulterà fondamentale, sia per ANSA® che per Fluent®, poter sfruttare creazione di appositi file di testo, (rispettivamente chiamati script e journal) scritti nei rispettivi linguaggi, che permetteranno di effettuare operazioni decisive che altrimenti non sarebbe possibile automatizzare.

Grazie ai programmi di ottimizzazione, come ModeFRONTIER®, sarà inoltre possibile fare direttamente l'analisi delle configurazioni generate tramite utili grafici e mappe che renderanno molto facile la lettura dei dati.

La simulazione finale sarà fatta in parte sui computer del dipartimento di aerodinamica applicata e in parte su 16 nodi con 8 GB di RAM dedicata e 8 processori ciascuno del Cluster dell'INFN di Pisa.

Ferrari 458 Italia (F142)

L'auto oggetto dell'ottimizzazione è la Ferrari 458 Italia



Figura 0.1: Ferrari 458 Italia (vista anteriore)

La Ferrari 458 Italia (sigla di progetto: F142) è un'auto sportiva, con carrozzeria di tipo berlina, due posti, ed ha un motore a 8 cilindri disposti a V.

La denominazione 458 Italia della vettura fa riferimento alla cilindrata (di 4,5 litri), seguita dal numero dei cilindri del motore.

La vettura è stata presentata in anteprima sul web il 28 luglio 2009, mentre la presentazione ufficiale è avvenuta alla 63^a edizione del Salone dell'auto di Francoforte che si è svolta nel settembre 2009.

La 458 Italia monta un motore V8 di 90° montato in posizione posteriore-centrale, dotato sia di iniezione diretta che indiretta, per gestire gli alti regimi dei quali il propulsore è capace, affiancato ad un cambio elettroidraulico a doppia frizione con 7 rapporti.

Il propulsore è caratterizzato da un rapporto di compressione particolarmente elevato (12,5:1), ottenuto anche grazie ad una ridotta altezza di compressione dei pistoni.

La vettura è sviluppata su un telaio in lega d'alluminio realizzato con tecnologie di derivazione aerospaziale, con sospensioni anteriori a triangoli sovrapposti e *multilink* per quelle posteriori.

La vettura è dotata di un'unica centralina Magneti Marelli abbinata al manettino Ferrari di derivazione Formula 1. Un'unica centralina consente di gestire e disinserire l'*E-Diff* (differenziale elettronico), il *F1-Trac* (sistema di trazione) e l'ABS.



Figura 0.2: Ferrari 458 Italia (vista posteriore)

Il profilo estetico della carrozzeria, realizzata in alluminio, disegnato da Pininfarina in collaborazione con il centro aerodinamico Ferrari, richiama le classiche linee sportive, generalmente create per i precedenti modelli, inserendo alcuni particolari innovativi, come i gruppi ottici a "scimitarra", simili a quelli della Ferrari California, e la sistemazione dei tre terminali di scarico, uniti al centro del paraurti posteriore, molto simili a quelli della Ferrari F40. Questi ultimi presentano due misure differenti: più piccolo quello centrale e più grandi quelli laterali.

Il disegno della vettura cerca di coniugare le esigenze stilistiche alle esigenze aerodinamiche della vettura.

Caratteristiche tecniche della vettura:

DIMENSIONI E PESI

Lunghezza 4527 mm
 Larghezza 1937 mm
 Altezza 1213 mm
 Passo 2650 mm
 Carreggiata anteriore 1672 mm
 Carreggiata posteriore 1606 mm
 Peso in ordine di marcia 1485 kg
 Peso a secco 1380 kg
 Distribuzione dei pesi: 42% ant - 58% post
 Capacità vano baule 230 l
 Capacità serbatoio benzina 86 l

PNEUMATICI

Anteriori 235/35 ZR20 8,5"
 Posteriori 295/35 ZR20 10,5"

FRENI CCM

Anteriori 398 x 223 x 36 mm
 Posteriori 360 x 233 x 32 mm

CONTROLLI ELETTRONICI

E-Diff3, F1-Trac, ABS prestazionale

MOTORE

Tipo V8 - 90°
 Cilindrata Totale 4499 cm³

Alesaggio e Corsa 94 x 81 mm
 Potenza massima 570 CV a 9000 giri/min
 Coppia massima 540 Nm a 6000 giri/min
 Potenza specifica 127 CV/l
 Regime massimo 9000 giri/min
 Rapporto di compressione 12,5:1

TRASMISSIONE e CAMBIO

Cambio F1 a doppia frizione 7 marce

PRESTAZIONI

Velocità massima 325 km/h
 0-100 km/h 3,4 s
 0-200 km/h 10,4 s
 0-400 m 11,3 s
 0-1000 m 20,3 s
 100-0 km/h 32,5 m
 200-0 km/h 128 m
 Peso secco/potenza 2,42 kg/CV
 Tempo giro di Fiorano 1'25"

SOSPENSIONI

SCM a Controllo di Smorzamento
 Magnetoreologico

CONSUMI ed EMISSIONI ECE+EUDC

Consumo 13,3 l/100km
 Emissioni 307 g CO₂/km

Capitolo 1: ANSA®

Prima parte di questo lavoro di tesi è l'indagine delle potenzialità di modifica della geometria (morphing) automatizzata della versione 15 del software ANSA®.



Figura 1.1: Logo distintivo del software ANSA®

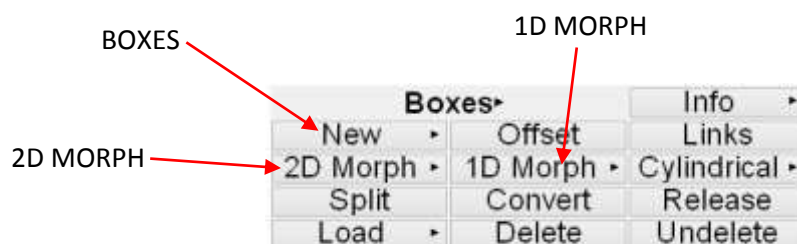
Il programma ANSA®, sviluppato dall'azienda Beta Cae Systems S.A., è un software che consente, a partire da geometrie CAD, di effettuare: Mesh di superficie, mesh di volume, di compiere operazioni di pulitura e rifinitura delle geometrie e operazioni di modifica delle stesse e dei modelli FEM per ottenere file di mesh pronti per essere importati dai principali programmi di risoluzione di problemi agli elementi finiti (Nastran, Ansys, Star-CCM+, Fluent, ...).

Il file .ansa, comprensivo della mesh di superficie dell'auto e del dominio di calcolo, nonché della mesh di volume dei radiatori e dei fluidi infrarazze, è stato fornito direttamente da Ferrari S.p.A.

La prima fase di questo lavoro di tesi è consistita nel valutare tutti i possibili strumenti di morphing che il programma mette a disposizione e la loro attitudine all'automatizzazione tramite parametri per poter consentire di realizzare l'ottimizzazione.

Gli strumenti di morphing disponibili sono:

- BOXES
- 2D MORPH
- 1D MORPH
- DIRECT MORPHING
- DFM

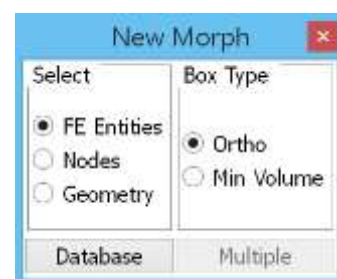


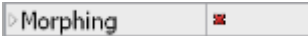


Gli strumenti DIRECT MORPHING e DFM (Direct Fitting Movements) permettono entrambi di effettuare modifiche alla geometria (ad esempio muovere e ruotare linee e punti) e sono entrambi automatizzabili ma non permettono modifiche alla geometria di disegni complessi, come le superfici di un'automobile; di seguito dunque verranno analizzati più in dettaglio soltanto i primi tre strumenti (BOXES, 2D MORPH e 1DMORPH).

BOXES:

Con lo strumento BOXES si generano parallelepipedi o cilindri (BOX) ai quali è possibile assegnare un certo dominio di elementi di geometria o FEM di competenza che si modificano assieme ai BOX quando modifichiamo la forma di quest'ultimi.



I BOX possono essere plasmati senza modificare gli elementi che sono stati caricati al loro interno semplicemente disattivando l'opzione morphing. 

In fase di creazione i BOX possono essere divisi (Split) e le loro linee proiettate su superfici o portate a coincidere con linee della geometria del modello o create dentro ANSA®.

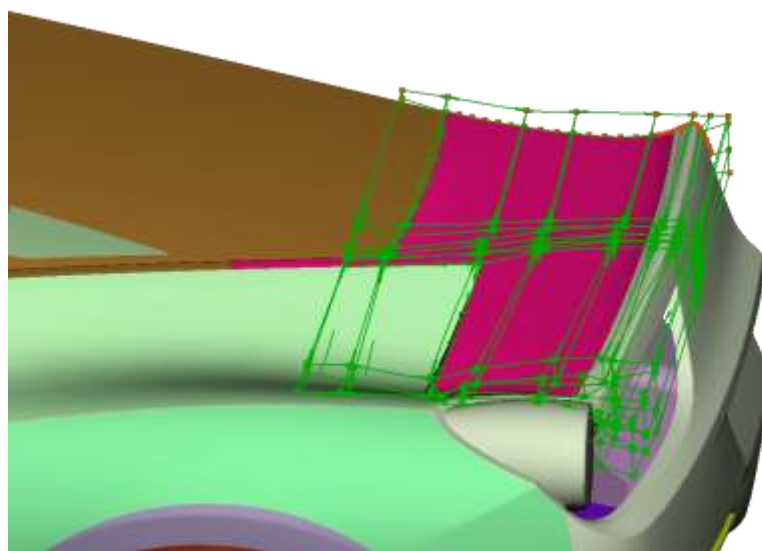


Figura 1.2: Esempio di MORPHING BOXES

Questo strumento, utilizzato anche in precedenti lavori di tesi permette un elevato controllo delle superfici coinvolte nel morphing e permette di imporre la condizione di

tangenza tra le linee di box attigui; di contro è piuttosto complesso da usare per modifiche locali a geometrie non piane e con bordi irregolari in quanto richiede che i bordi siano fissati manualmente a quelli della geometria.

Questo strumento richiede inoltre un check della geometria, da effettuare dopo aver caricato gli elementi nei BOXES, per risolvere conflitti in merito all'appartenenza degli elementi di confine tra due BOX.

2D MORPH:

Lo strumento 2D MORPH permette modifiche alla geometria solo di superfici.

Questo strumento permette di creare, al posto dei BOX, delle superfici di morphing, delimitate da 4 gruppi di curve, all'interno delle quali si possono caricare (come per i BOX) gli elementi che si intendono modificare e che si modificheranno poi assieme alle superfici create.



È possibile suddividere la superficie di morphing in più sotto-superfici tramite linee di split (linee gialle nella Figura 1.3): così facendo si può decidere di modificare soltanto elementi presenti nelle sotto-superfici desiderate.

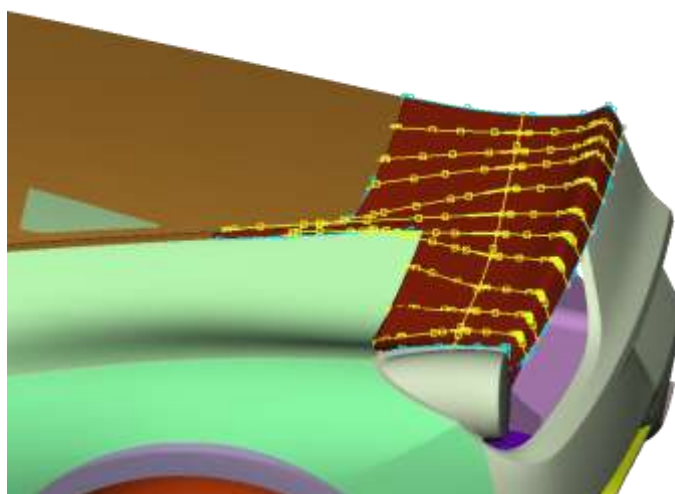


Figura 1.3: Esempio di MORPHING 2D

Questo strumento, nonostante sia abbastanza facile da usare, presenta problemi in merito al caricamento degli elementi all'interno delle singole sotto-superfici nelle quali viene suddivisa la superficie di partenza e non risulta adatto per superfici ad elevata curvatura o molto vicine tra loro.

1D MORPH:

Lo strumento 1D MORPH è un nuovo strumento di morphing presente solo dalla versione 15 del programma.

Questo strumento permette di generare delle linee (rosa) alle quali si possono associare tutte le facce che si vogliono modificare tramite il morphing, questi elementi andranno a modificarsi a seguito di modifiche delle posizioni dei punti appartenenti alle linee di morphing.

Le superfici che sono oggetto del morphing si possono graffiare con una serie di linee e queste linee si possono suddividere in molti segmenti inserendo punti di controllo nelle stesse.

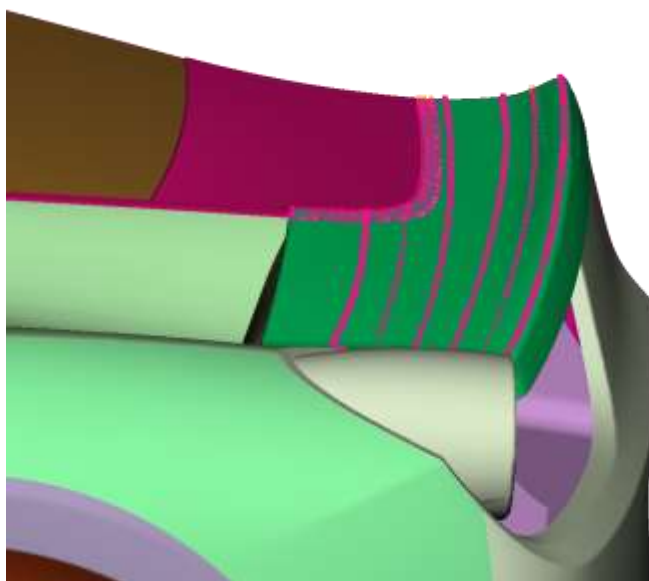


Figura 1.4: Esempio di MORPHING 1D

Questo strumento è facile da usare ma di contro presenta alcuni svantaggi come l'impossibilità di imporre la condizione di tangenza per le superfici che si modificano ed un più laborioso controllo degli elementi oggetto del morphing.

Nella versione 15.0.0 di ANSA® erano presenti numerosi problemi riguardo questo nuovo strumento di morphing che di fatto lo rendevano inutilizzabile ma a seguito alla segnalazione dei problemi riscontrati fatta alla Beta Cae Systems questi sono stati risolti nella release successiva: la versione 15.0.1.

Tutti e 5 gli strumenti descritti permettono modifiche sia di elementi geometrici che FEM ma presentano ancora vari problemi con la modifica automatizzata degli elementi di geometria che di fatto non permettono di utilizzarli per tale scopo.

Solo lo strumento BOXES, ad oggi, permette di effettuare modifica della geometria in maniera parametrica mentre per gli altri strumenti è possibile modificare in maniera parametrica soltanto il FEM.

SCELTA DELLO STRUMENTO

Lo strumento più efficace per il problema in questione è risultato essere l' 1D MORPH.

Per i vantaggi che presenta è stato scelto di utilizzare questo strumento anche se dobbiamo rinunciare ad avere il modello geometrico modificato.

Ai fini dell'ottimizzazione questo non è un problema perché il file generato da ANSA® che deve essere importato in Fluent® è un file di mesh e quindi non fa alcuna differenza se modifichiamo o meno anche la geometria.

Una volta che otterremo la configurazione ottima, noti i valori ottimi dei parametri, potremo manualmente ricostruire anche la geometria ricaricando manualmente le superfici geometriche nelle linee di morphing ed impostando i valori dei parametri ottenuti, anche se ciò risulta essere un po' laborioso.

Soluzioni agli inconvenienti di questo strumento vengono indicate nel seguito quando si parlerà nel dettaglio di come viene modificato il modello FEM originale della vettura in questione.

CARATTERISTICHE DEL MODELLO ANSA

Il file in formato ansa fornito da Ferrari è un modello geometrico opportunamente pulito, semplificato e pensato per simulazione CFD.

Il file contiene le superfici della macchina e quelle del contorno del dominio di simulazione già con la mesh e gli elementi di volume dei radiatori, dei volumi d'aria all'interno dei cerchi delle ruote ed in corrispondenza dei dischi dei freni.

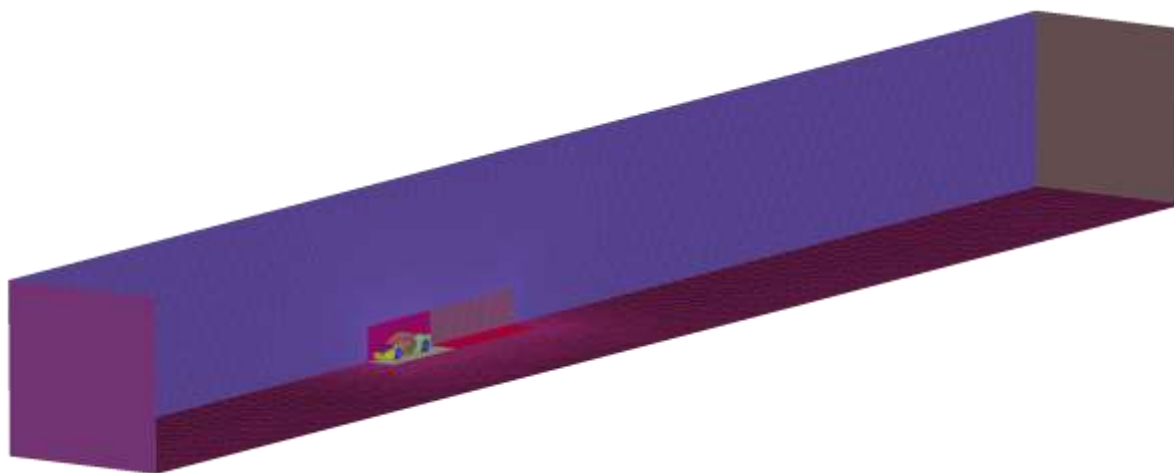


Figura 1.5: Dominio della vettura in formato .ansa

Nel modello ansa fornito ci sono solo metà dell'automobile e del dominio di calcolo perché si effettuerà la simulazione sfruttando la simmetria del problema.

La mesh del modello non è eccessivamente fitta proprio perché essendo pensata per un ottimizzazione non deve richiedere troppo tempo per la simulazione.

In dettaglio:

Celle di superficie auto: 985.000

Celle dominio e piano simmetria: 148.000

Le dimensioni del dominio sono riassunte nella Tabella 1.1:

Dominio di Calcolo	
Lunghezza	100 m
Larghezza	10 m
Altezza	10 m
Spaziatura	1200 mm
Zone di Infittimento	
Box_car	8-50 mm
Carpet_car	8-20 mm
Box_wake	50-100 mm
Size_function	50-1200 mm

Tabella 1.1: Dimensioni dominio di calcolo

La mesh utilizzata per la vettura è triangolare tranne che per alcune superfici in prossimità dei radiatori dove la mesh è quadrata.

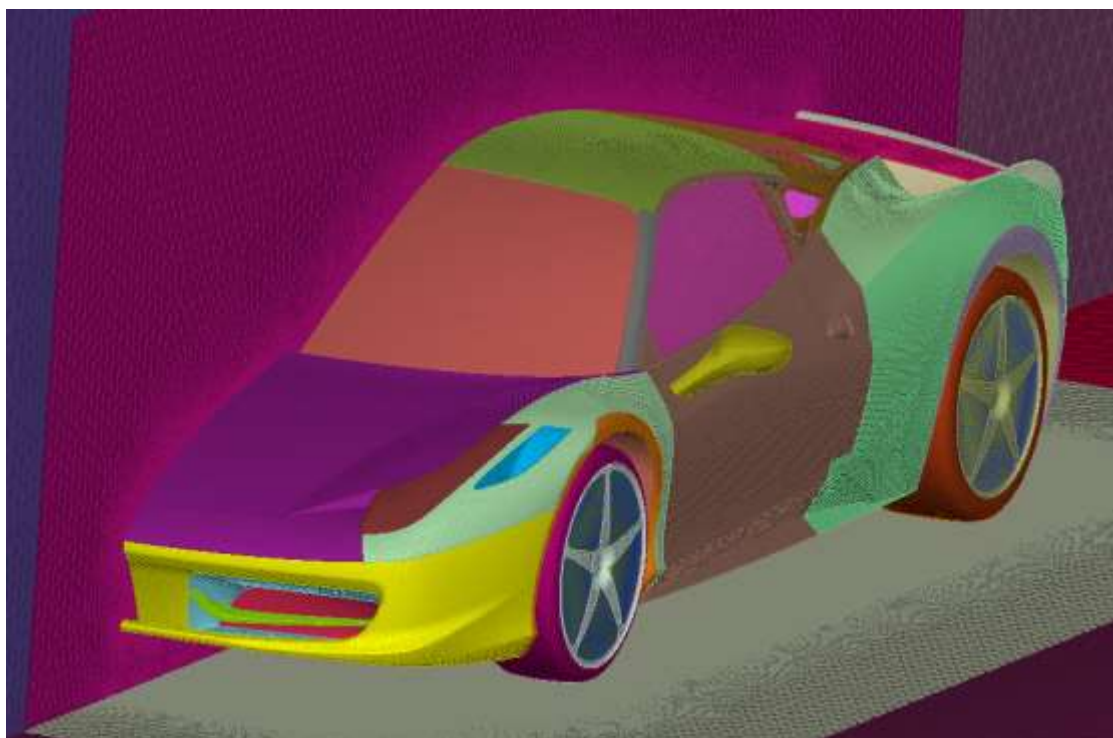


Figura 1.6: Mesh superficiale della vettura in ANSA

Nel modello ANSA le parti geometriche sono suddivise in PID (Property ID), a ciascun PID viene assegnato un diverso colore per renderne più facile l'individuazione.

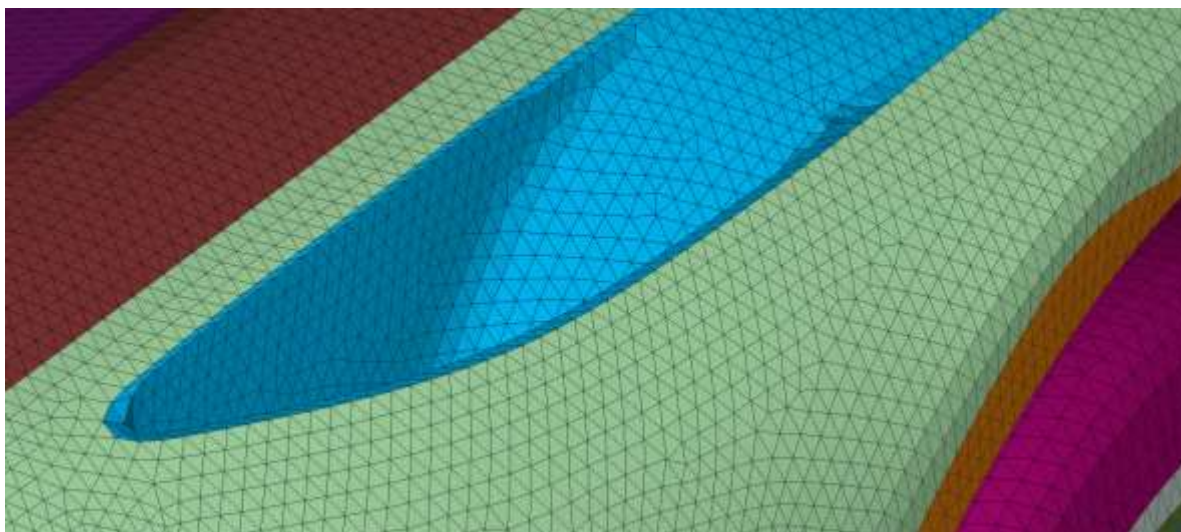


Figura 1.7: Dettaglio mesh superficiale della vettura

MORPHING

La parte di vettura che si è deciso di modificare è il posteriore dove si trova lo spoiler.



Figura 1.8: Posteriore Ferrari 458 Italia

Il PID che fa riferimento alle facce che verranno modificate è rappresentato dall'elemento verde mostrato nella Figura 1.9 che abbiamo chiamato MORPID.

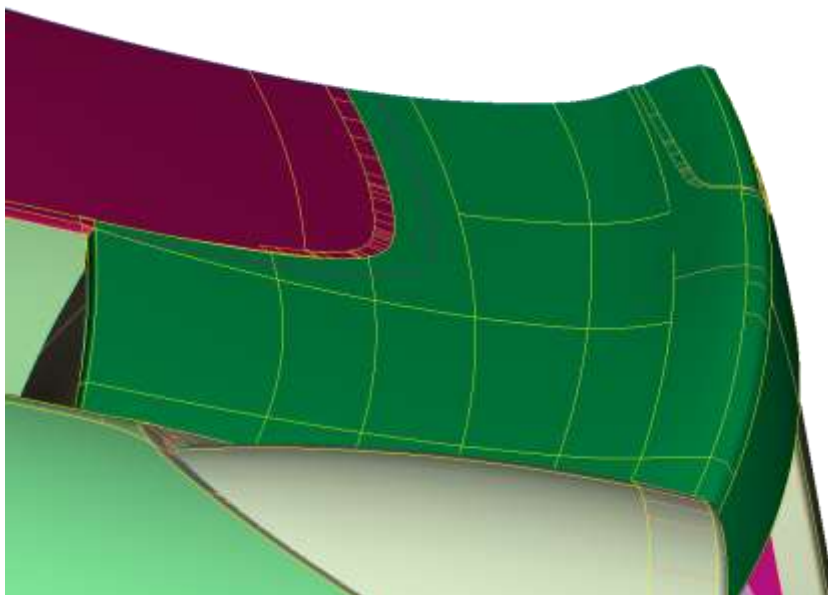


Figura 1.9: PID (verde) scelto per il morphing (MORPID)

Per la realizzazione del morphing sono state eseguite le seguenti operazioni:

1. Realizzazione delle linee (rosa) di MORPH 1D; in parte sovrapposte a linee geometriche già esistenti nel modello e in parte a linee appositamente create e proiettate sul MORPID.

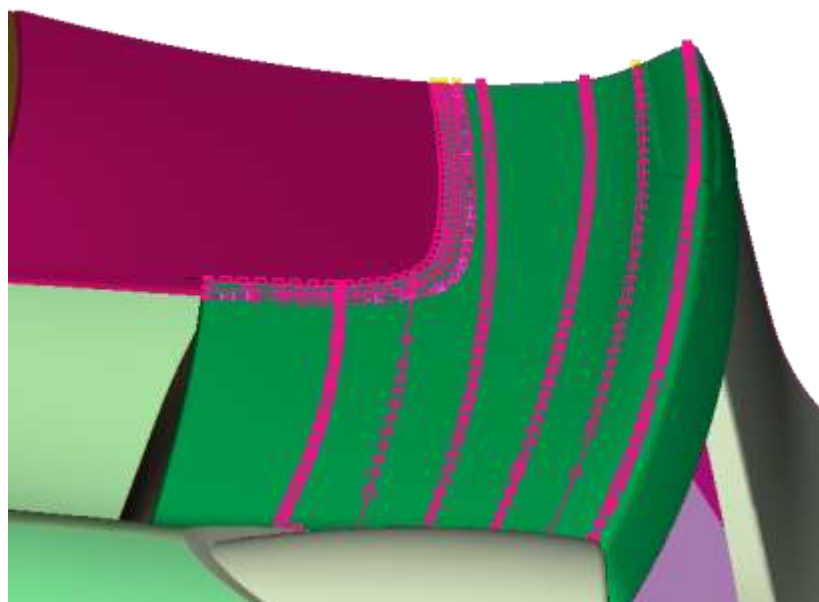


Figura 1.10: Linee rosa di morphing

2. Assegnazione dei punti di controllo alle linee rosa (circa 40 per linea).
3. Caricamento di tutti gli elementi FEM appartenenti al MORPID in tutte le linee rosa.

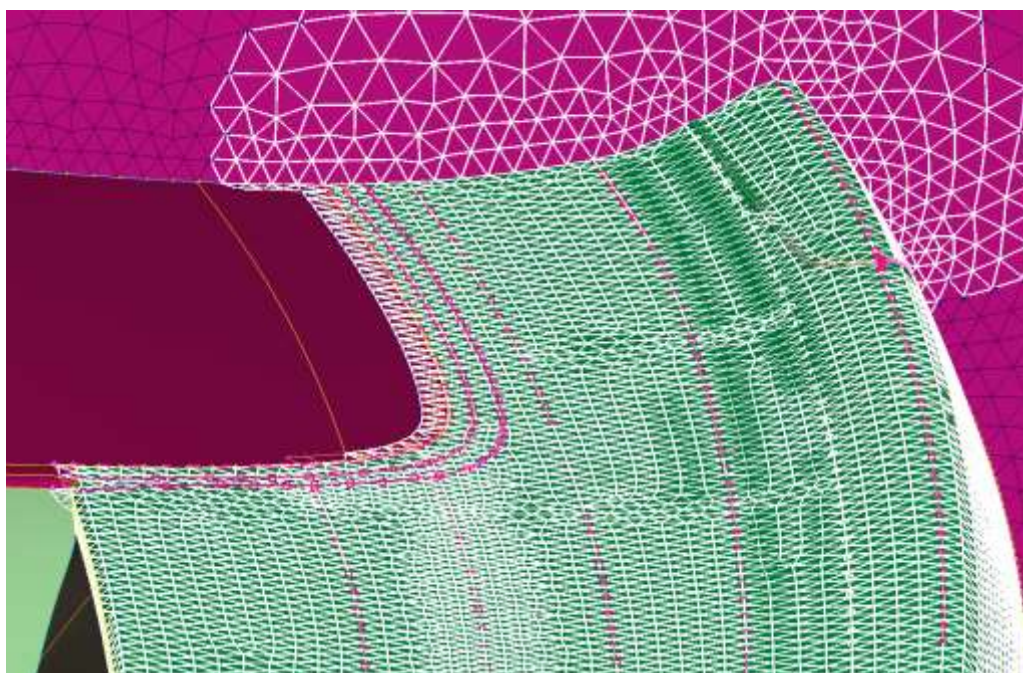


Figura 1.11: Elementi caricati negli 1D MORPH

4. Definizione dei parametri di morphing tramite il parametro `DIRECT>TRANSLATE>MORPH PNTs` che permette di traslare i punti di controllo appartenenti alle linee rosa.

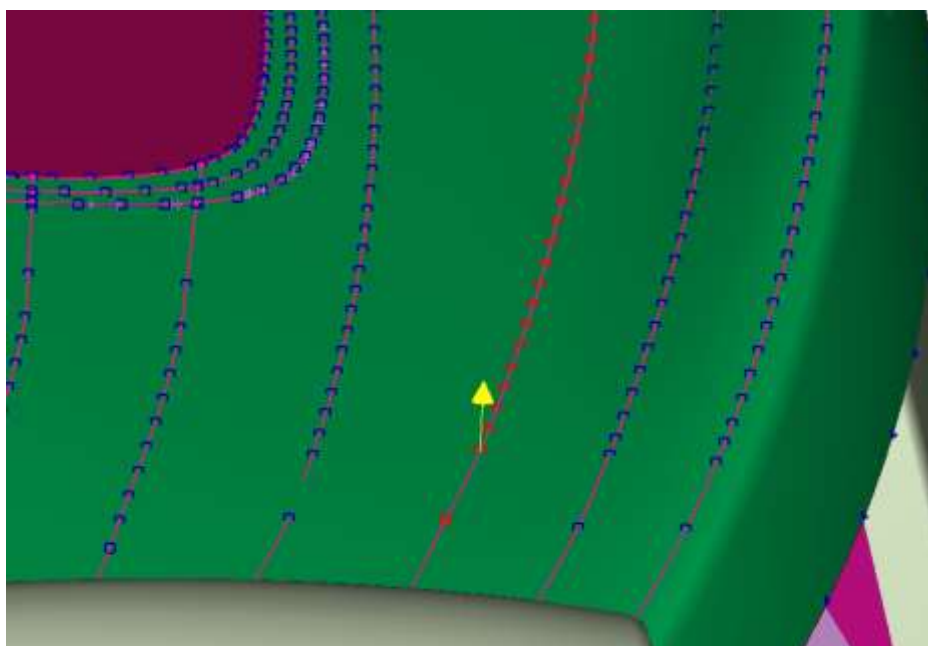


Figura 1.12: Esempio parametro `DIRECT>TRANSLATE>MORPH PNTs`

Nella Figura 1.12 i punti blu sono punti che non si possono muovere, quelli rossi si muovono del valore imposto nella definizione del parametro e i punti bianchi sono quelli che il programma muove di conseguenza a quelli rossi ma di un valore differente in funzione dell'entità dello spostamento della linea.

Al momento della definizione del parametro il programma chiede l'assegnazione del bordo del dominio da modificare che resterà fermo durante il morphing.

Per realizzare il morphing della superficie scelta abbiamo creato 11 parametri che coinvolgono punti appartenenti alle linee rosa create che muovono ciascuno insieme diversi di punti di controllo delle linee di morphing.

I Parametri di morphing nulla hanno a che vedere con i parametri dell'ottimizzazione.

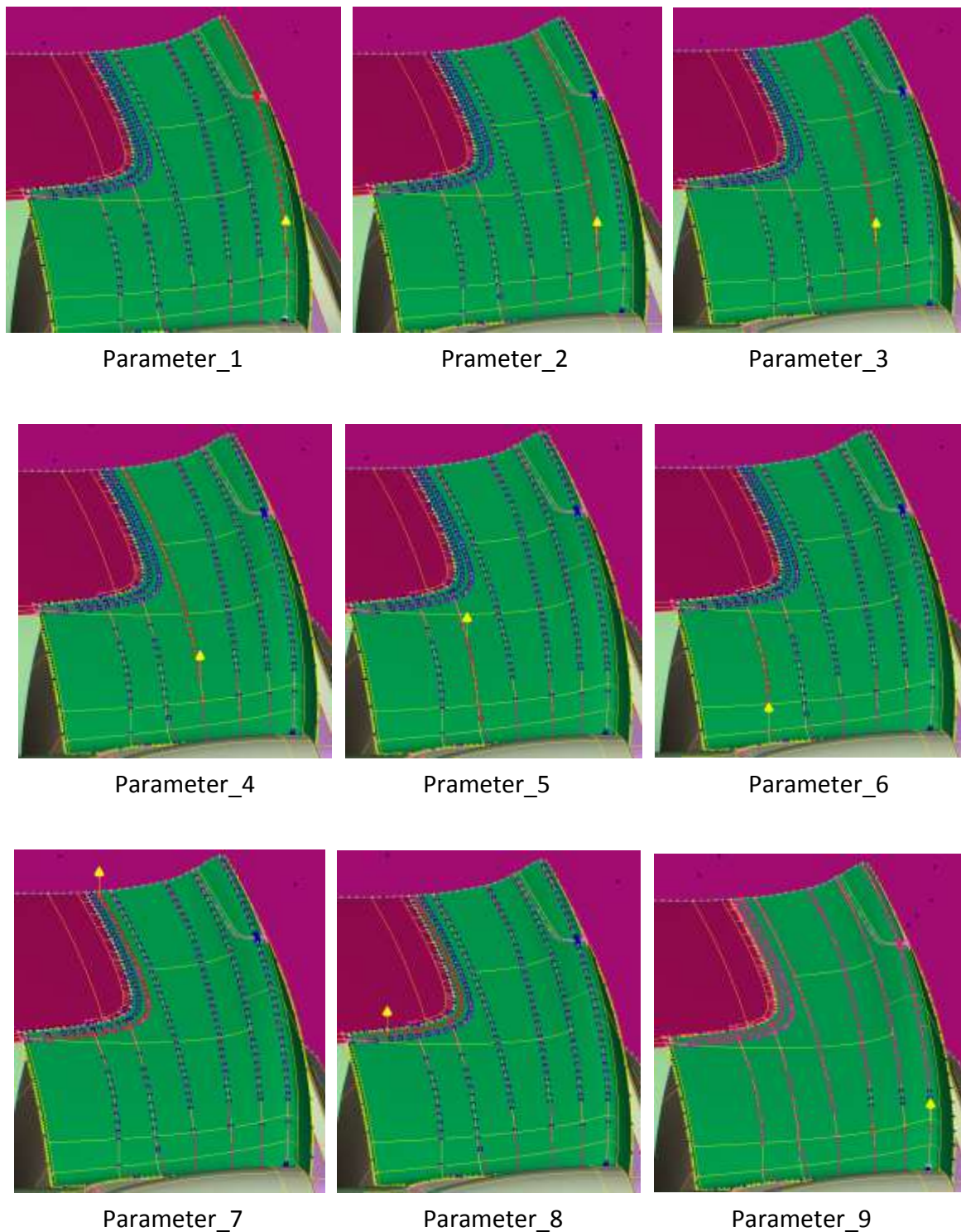


Figura 1.13: Parametri di MORPHING

I parametri 10 e 11 non riportati nella Figura 1.13 servono per smussare eventuali spigoli che si possono creare nelle vicinanze dei punti di controllo d'estremità.

Per gestire la modifica della geometria è stato scelto di usare 2 variabili di disegno (DV) che sono i parametri dell'ottimizzazione: Combinazioni di queste 2 DV restituiscono i valori degli spostamenti da assegnare ai punti rossi per ciascuno degli 11 parametri di morphing.

Il valore dello spostamento dei punti nei parametri è funzione di DV1 e DV2: ad esempio la linea di morphing posteriore trasla in verticale della quantità $DV1+DV2$.

I motivi per cui sono state messe soltanto 2 DV sono:

- 1- Perché essendo la simulazione da effettuare piuttosto impegnativa in termini di risorse di calcolo prendere un numero maggiore di DV comporterebbe un allungamento dei tempo necessari per trovare la condizione di ottimo.
- 2- Perché la modifica alla geometria è abbastanza localizzata e ci sono dei vincoli di bordo e di tangenza da rispettare che rendono inutile aggiungere altre DV perché non potrebbero essere indipendenti dalle precedenti.

Le espressioni degli 11 parametri sono state pensate per mantenere la tangenza vicino al lunotto e per far sì che DV1 abbia la funzione di alzare/abbassare tutta la superficie coinvolta nel morphing mentre DV2 abbia la funzione di alzare/abbassare soltanto la parte terminale dello spoiler.

I valori estremi per DV1 e DV2, in millimetri, che sono stati scelti, sono:

$$-15 < DV1 < 15$$

$$-15 < DV2 < 15$$

Le linee rosa vicine tra loro nella zona del lunotto sono state così messe per ovviare all'impossibilità di imporre la condizione di tangenza imponendo degli spostamenti graduali.

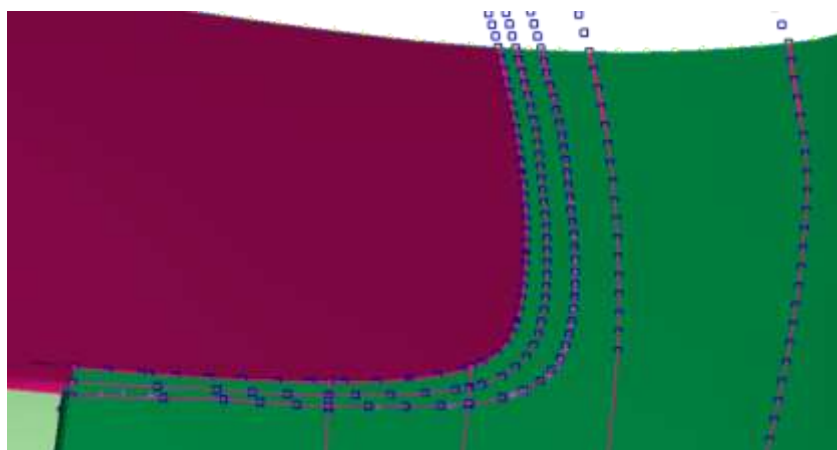


Figura 1.14: Dettaglio bordo lunotto

Resta adesso il problema di imporre l'orizzontalità della superficie del MORPID incidente sul piano di simmetria.

Per risolvere questo problema si è creato anche la parte al di là del piano di simmetria delle linee rosa e si è effettuato il morphing delle linee complete così da mantenere la simmetria.

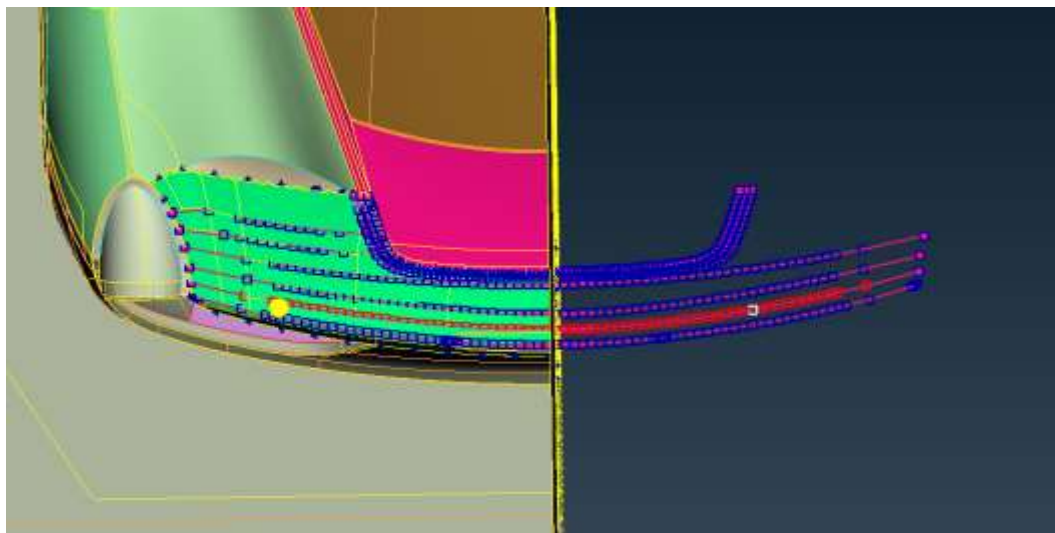


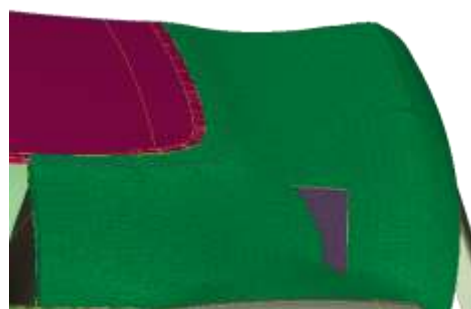
Figura 1.15: Linee di morphing simmetriche



DV1=0; DV2=0



DV1=15; DV2=15



DV1=-15; DV2=-15



DV1=-10; DV2=15



DV1=15; DV2=-15

Figura 1.16: Esempi di morphing dello spoiler

Il caso DV1=-15; DV2=-15 genera un'intersezione con la superficie del supporto del radiatore dell'olio: questa configurazione verrà scartata in maniera automatica da ANSA® come indicato nel seguito.

OPTIMIZATION TASK

Per l'automatizzazione della procedura di morphing esiste un apposita sezione di ANSA® detta Task Manager: Questa è già pensata per interfacciarsi con ModeFrontier® (programma che gestisce l'ottimizzazione).

L'Optimization task è una routine che ANSA® esegue ogni volta che ModeFrontier®, dopo aver generato i valori delle due DV, gli chiede di farlo.

La composizione dell'Optimization task è riportata in Figura 1.17:

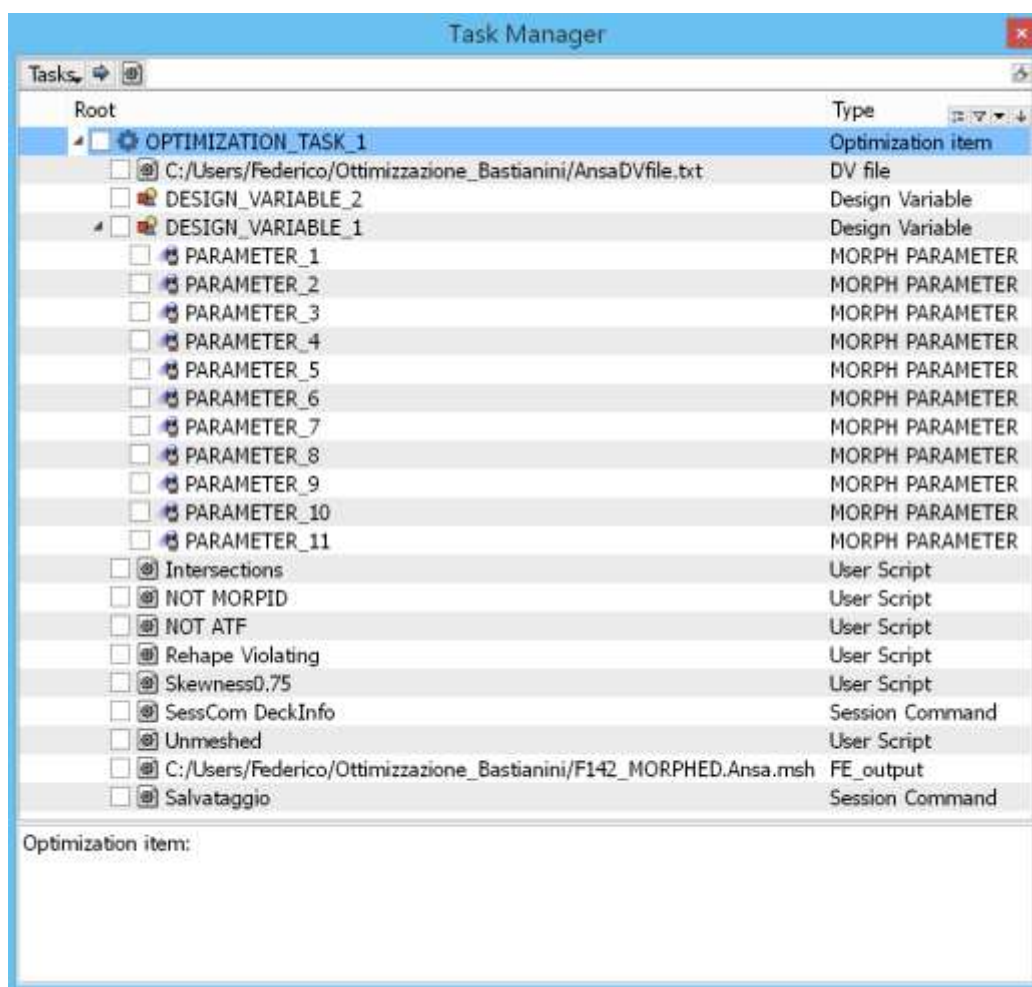


Figura 1.17: Optimization task

I comandi presenti nell'Optimization Task rappresentano:

- La creazione del file di testo (DV file) contenete le informazioni sulla combinazione, cioè contenete i valori assegnati a DV1 e DV2.
- La definizione delle due DESIGN_VARIABLE.
- La definizione dei valori da assegnare ai parametri per il morphing in funzione delle due DV (vedi Figura 1.18).

- Gli User script Intersections e Unmeshed che controllano che non ci siano intersezioni tra i vari elementi e che non ci siano parti geometriche prive di mesh.
- L' User script Reshape Violating che rigenera la mesh della parte del piano di simmetria vicina al MORPID per migliorare la qualità degli elementi.
- Il Session Command DeckInfo che crea un file di testo contenente alcuni dati sulla mesh tra cui la massima Skewness superficiale della zona modificata.
- Il FE_output, cioè il salvataggio del file di mesh che verrà poi inviato al mesher di Fluent®.
- Il Salvataggio del file in formato .ansa per successive analisi.

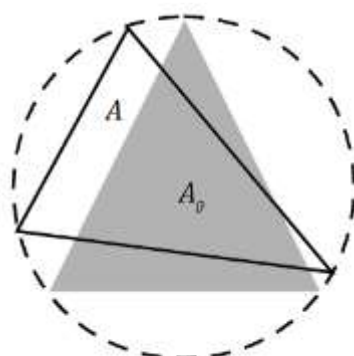
Gli altri script non citati visibili nella Figura 1.17 servono perché tutto ciò funzioni correttamente come indicato.

Morph Parameter Table for DESIGN_VARIABLE_1						
Id	Name	Type	Current value	Expression	Used by DV	At the end apply
1	PARAMETER_1	Direct on morph pnts	DESIGN_VARIABLE_1+DESIGN_VARIABLE_2		DESIGN_VARIABLE_1	Nothing
2	PARAMETER_2	Direct on morph pnts	0.9*DESIGN_VARIABLE_1+0.4*DESIGN_VARIABLE_2		DESIGN_VARIABLE_1	Nothing
3	PARAMETER_3	Direct on morph pnts	0.8*DESIGN_VARIABLE_1		DESIGN_VARIABLE_1	Nothing
4	PARAMETER_4	Direct on morph pnts	0.25*DESIGN_VARIABLE_1		DESIGN_VARIABLE_1	Nothing
5	PARAMETER_5	Direct on morph pnts	0.5*DESIGN_VARIABLE_1		DESIGN_VARIABLE_1	Nothing
6	PARAMETER_6	Direct on morph pnts	0.3*DESIGN_VARIABLE_1		DESIGN_VARIABLE_1	Nothing
7	PARAMETER_7	Direct on morph pnts	0.25*DESIGN_VARIABLE_1		DESIGN_VARIABLE_1	Nothing
8	PARAMETER_8	Direct on morph pnts	0.1*DESIGN_VARIABLE_1		DESIGN_VARIABLE_1	Nothing
9	PARAMETER_9	Direct on morph pnts	0.05*DESIGN_VARIABLE_1		DESIGN_VARIABLE_1	Nothing
10	PARAMETER_10	Direct on morph pnts	-0.15*(DESIGN_VARIABLE_1+DESIGN_VARIABLE_2)		DESIGN_VARIABLE_1	Nothing
11	PARAMETER_11	Direct on morph pnts	-0.05*DESIGN_VARIABLE_1		DESIGN_VARIABLE_1	Nothing

Figura 1.18: Espressione dei Parametri di morphing

DEFINIZIONE DI SKEWNESS

La skewness secondo Fluent è definita come:



$$skew = \frac{A_0 - A}{A_0}$$

Il valore minimo di *Skeewness* (0) si ottiene per celle perfettamente equilateri, mentre il massimo (1) corrisponde a celle che tendono a collassare su un proprio lato. Il massimo valore ammissibile di tale grandezza, indicato da Ferrari S.p.A., è stato impostato pari a 0.75.

A questo punto l'impostazione di ANSA® è terminata e possiamo passare al capitolo successivo che descrive l'impostazione di Fluent® per realizzare la mesh di volume.

Capitolo 2: Fluent Mesher®

Come da direttive aziendali il programma scelto per effettuare la mesh di volume è Fluent®.



ANSYS® Fluent Mesher® è la sezione del programma ANSYS Fluent® che permette di generare la mesh di volume di un dominio chiuso a partire dalla mesh di superficie dei contorni di tale dominio.

Fluent Mesher® permette di assegnare a ciascun contorno la propria tipologia fisica (inlet, outlet, parete, parete in movimento, piano di simmetria, ...) e di definire box per l'infiltramento localizzato della mesh di volume.

In analogia a quanto usualmente fatto per lavori e scopi analoghi, si è optato per l'utilizzo di una *mesh* non strutturata, tetraedrica, eccezion fatta per il vano racchiuso dai radiatori, in corrispondenza dei quali è stata costruita una griglia prismatica, già presente nel modello di partenza inizialmente fornito, il quale conteneva già anche la griglia all'interno dei cerchi delle ruote ed in corrispondenza dei dischi dei freni.

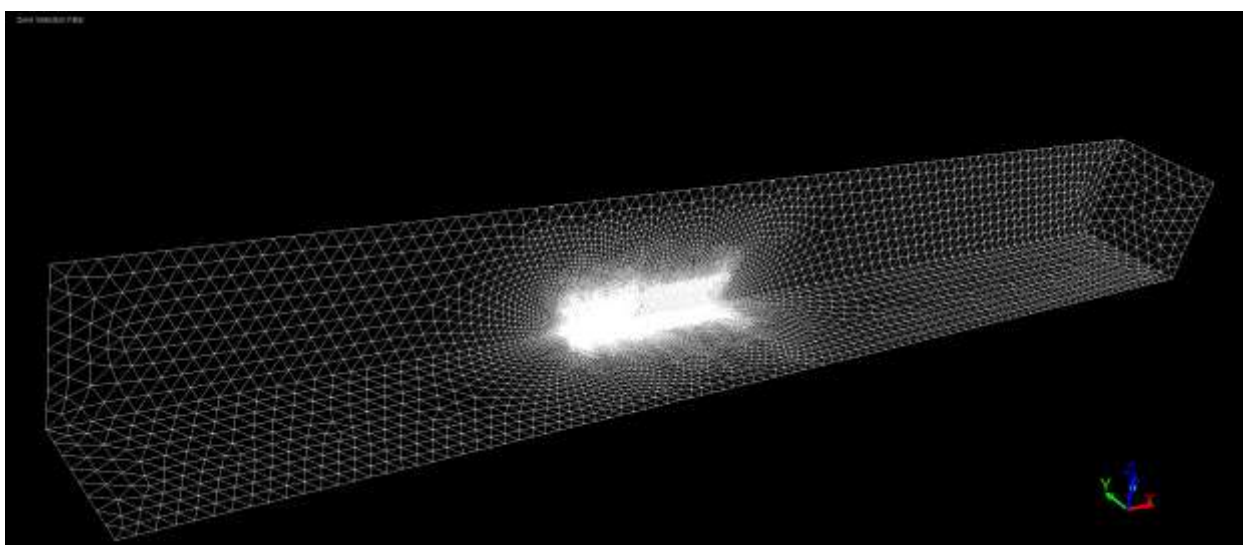


Figura 2.1: Mesh del dominio su Fluent Mesher®

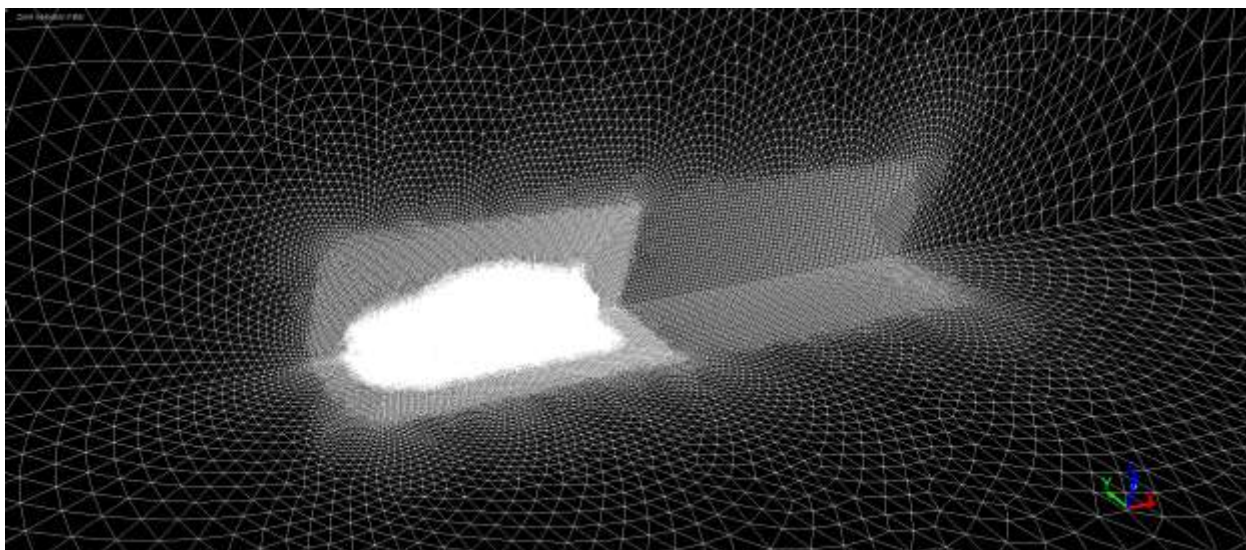


Figura 2.2: Mesh del dominio ingrandita su Fluent Mesher®

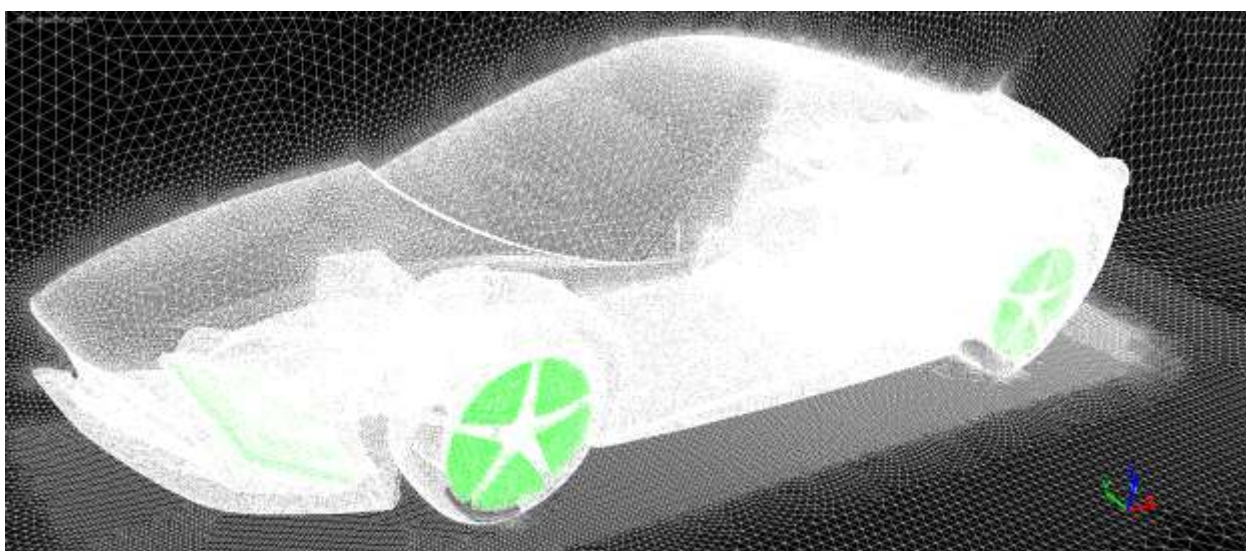


Figura 2.3: Mesh dell'auto su Fluent Mesher®

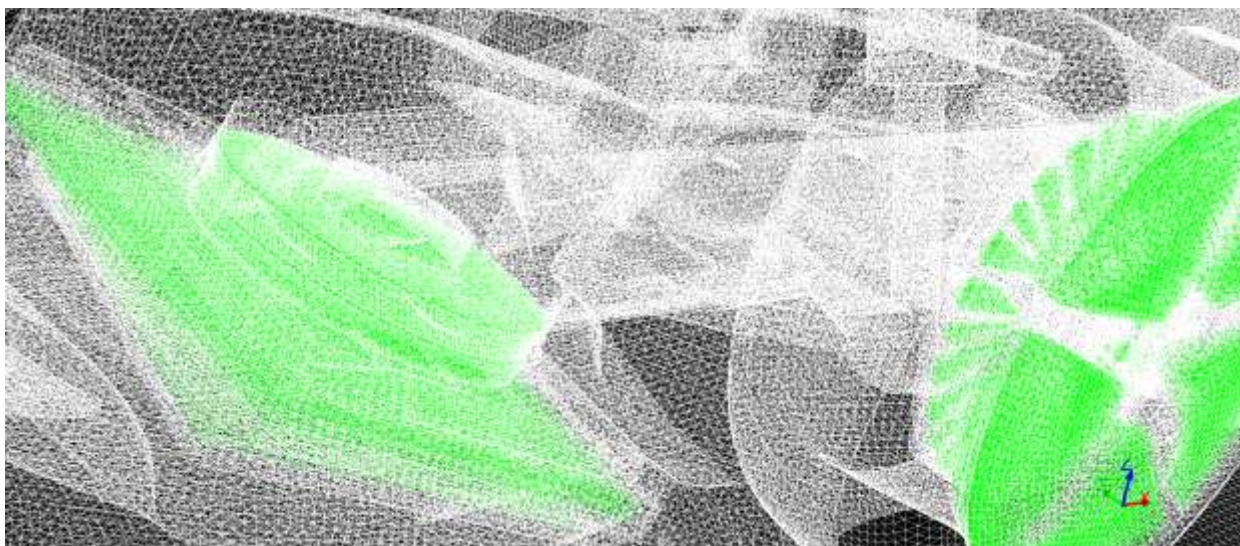


Figura 2.4: Zone fluide radiatori acqua e condensatore e gruppo ruota anteriore

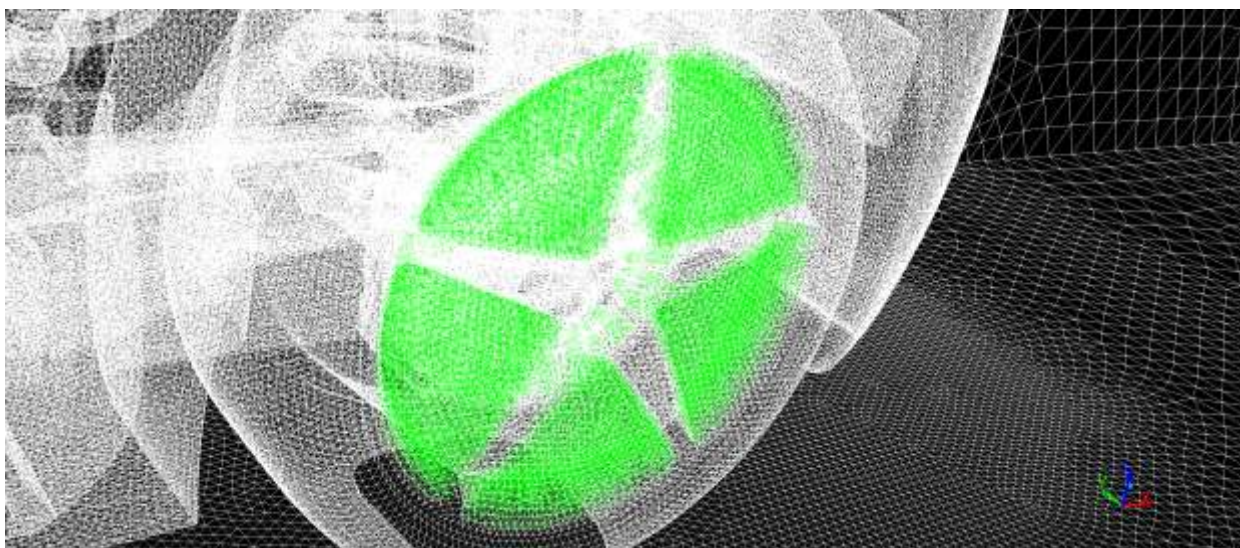


Figura 2.5: Zone fluide gruppo ruota posteriore

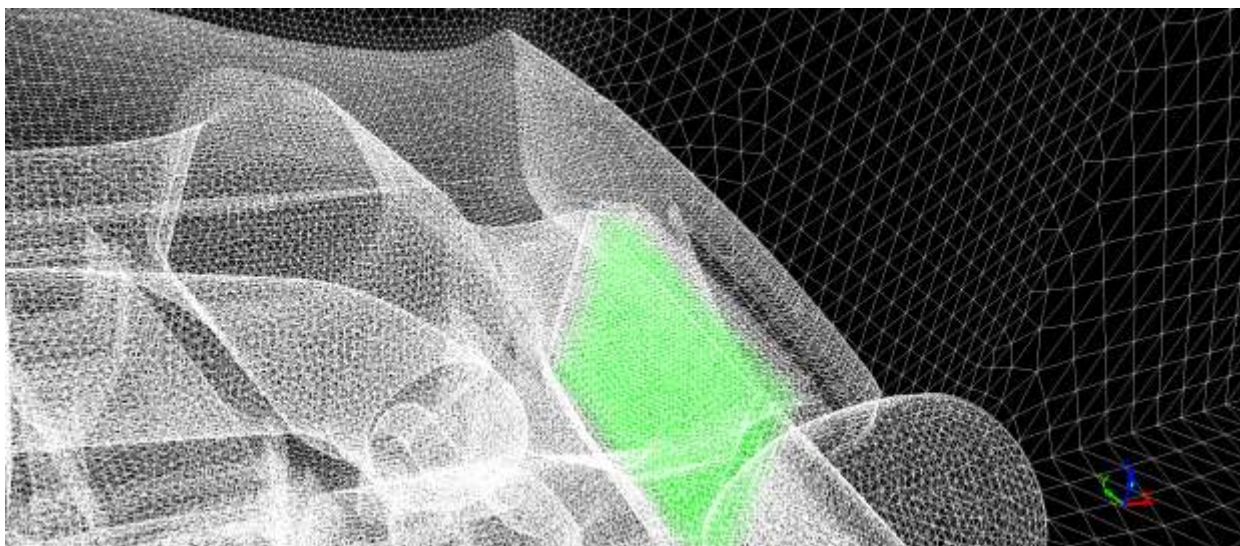


Figura 2.6: Zona fluida radiatore olio

Per effettuare tutte le operazioni in maniera automatica è stato compilato un file Journal (file di testo che contiene i comandi che il programma deve eseguire, scritto nel linguaggio di Fluent®) che effettua le seguenti operazioni:

- Caricamento del file di mesh in uscita da ANSA®
- Check della mesh
- Assegnazione delle condizioni al contorno (Inlet, Outlet, piani di simmetria, ...)
- Definizione del dominio
- Definizione delle zone di infittimento (box auto e box scia)
- Preservamento zone fluide radiatori e infrarazze
- Impostazione parametri della mesh di volume
- Inizializzazione della mesh di volume
- Infittimento della mesh generata
- Salvataggio del file di mesh di volume

Posizione e dimensione dei box di infittimento della zona macchina e della zona scia si possono intuire dalla Figura 2.2.

Le condizioni al contorno assegnate saranno riassunte nel prossimo Capitolo.

Dati importanti relativi alla mesh di volume generata utilizzata per l'ottimizzazione saranno riassunti nel Capitolo: Analisi di Sensibilità.

Generato il file con la mesh di volume possiamo passare all'impostazione di tutti quei parametri caratteristici della simulazione necessari al programma per poter lanciare la simulazione CFD.

Capitolo 3: Fluent Solver®

Come da direttive aziendali il programma scelto per effettuare la simulazione CFD è Fluent Solver®.



Fluent Solver® è la sezione del programma ANSYS® Fluent® che risolve problemi di fluidodinamica.

In Fluent Solver® sono presenti numerosi modelli di soluzione tra cui modelli RANS, LES, DES, ... tra i quali scegliere in funzione del tipo di problema da analizzare e del tipo di risultati che si vogliono ottenere.

Per la risoluzione del problema aerodinamico sono stati creati due file Journal contenenti i comandi ed i settaggi necessari al programma.

Il primo Journal contiene tutti i comandi che deve eseguire il programma per impostare correttamente il problema; il secondo è il Journal che lancia la simulazione fluidodinamica impostando, ad esempio, il numero di iterazioni che si vogliono effettuare.

Il journal di setup creato contiene i comandi che dicono al programma di:

- Caricare il file di mesh di volume proveniente da Fluent Mesher®
- Scalare il problema da metri a millimetri
- Definire il modello di turbolenza (k-epsilon, realizable, non equilibrium wall function, ...)
- Impostare tutti i valori di riferimento (velocità, densità, area, lunghezza, pressione, ...)
- Impostare i monitor per i coefficienti aerodinamici di interesse
- Definire i valori dei parametri per le condizioni al contorno (velocità del flusso, velocità di traslazione tappeto mobile, velocità di rotazione ruote, ...)
- Definire le caratteristiche del fluido all'interno dei radiatori (porous-zone)
- Salvare i documenti di testo con l'andamento dei coefficienti di interesse all'aumentare del numero delle iterazioni effettuate (C_D C_L C_M $C_{p^{rad}}$)
- Salvare il file di mesh di volume con tutte le impostazioni suddette pronto per essere lanciato (file .cas).

Si riassumono nelle seguenti tabelle le condizioni al contorno e le condizioni sulle zone fluide.

Condizione al contorno	Parametri della condizione al contorno	Componente Geometrico
Velocity inlet	$U_{\infty} = 33.3 \text{ m/s}$ Direction: normal to boundary	Ingresso del flusso PID: domain_inlet.velocity-inlet
Pressure outlet	Gauge Pressure= 0 Pa	Uscita del flusso PID: Domain_outlet.pressure-outlet
Symmetry		Piano di simmetria del dominio PID: Domain_inner_inner_car_symmetry.symmetry Domain_outer_symmetry.symmetry Domain_inner_wake_symmetry.simmetry
Symmetry (condizione che simula il far field)		Limite superiore e laterale del domino: PID: Domain_outer_outside_symmetry.symmetry Domain_outer_top_symmetry.simmetry
Moving wall (translating)	$ \vec{V} = 33.3 \text{ m/s}$ component: nx= 0.99998 ny= 0 nz= -0.005662	Pavimento mobile: PID: Domain_outer_ground.mw Domain_inner_ground_car.mw Domain_inner_ground_wake.mw
Moving wall (rotating)	<i>rotation axis: - Y</i> (front wheel) $\omega = 99.3 \text{ rad/s}$ rotation center: x= 0.00001 m y= 0 m z= -0.052298 m (rear wheel) $\omega = 93.7 \text{ rad/s}$	Gruppo ruote (f=front, r=rear) PID: Cfb_brake_stopper.mw Crb_brake_stopper.mw Cfw_tyre_down.mw Crw_tyre_down.mw Cfb_brake_disk_int.mw Cfb_brake_disk_ext.mw Crb_brake_disk_int.mw Crb_brake_disk_ext.mw Cfb_brake_corona_ext.mw Cfb_brake_corona_int.mw Crb_brake_corona_ext.mw

	rotation center: x= 2.650112 m y= 0 m z= -0.046739 m	Crb_brake_corona_int.mw Cfb_brake_canali.mw Crb_brake_canali.mw Crw_tyre_surface.mw Cfw_tyre_surface.mw Crw_wheel.mw Cfw_wheel.mw Crw_wheel_lat.mw Cfw_wheel_lat.mw
Moving wall (rotating)	$\omega = 282.7 \text{ rad/s}$ axis direction: nx= 0.40521 ny= -0.035462 nz= 0.91534 axis position: x= -0.54949 m y= -0.5474 m z= -0.023971 m	Ventola PID: Cfi_fan_wall_ext.mw Cfi_fan.mw

Tabella 3.1: Condizioni al contorno

Fluid (rotating)	<p><i>rotation axis: – Y</i></p> <p>(front wheel)</p> <p>$\omega = 99.3541 \text{ rad/s}$</p> <p>rotation center: x= 0.00001 m y= 0 m z= -0.052298 m</p> <p>(rear wheel)</p> <p>$\omega = 93.7646 \text{ rad/s}$</p> <p>rotation center x= 2.650112 m y= 0 m z= -0.046739 m</p>	Fluido interno alle razze delle ruote e ai freni PID: fluid_cfb_brake.mrf fluid_cfw.mrf fluid_crb_brake.mrf fluid_crw.mrf fluid_rad_fan.mrf
Fluid (porous zone)	NDR (Tutti i parametri settati come in precedenti lavori di tesi)	Fluido dei radiatori: PID: fluid_rad_condenser fluid_rad_h2o fluid_rad_olio

Tabella 3.2: Condizioni zone fluide

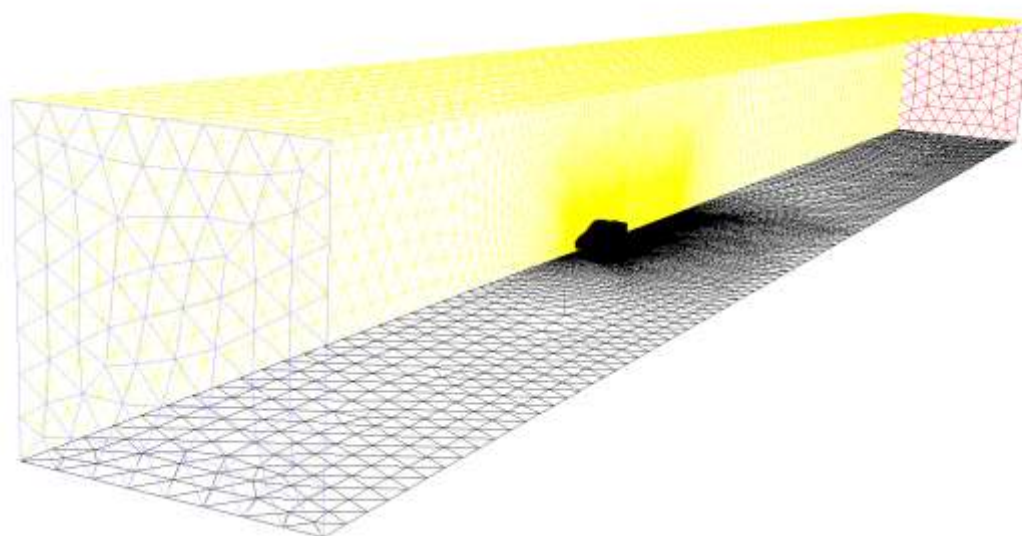


Figura 3.1: Dominio in Fluent Solver®

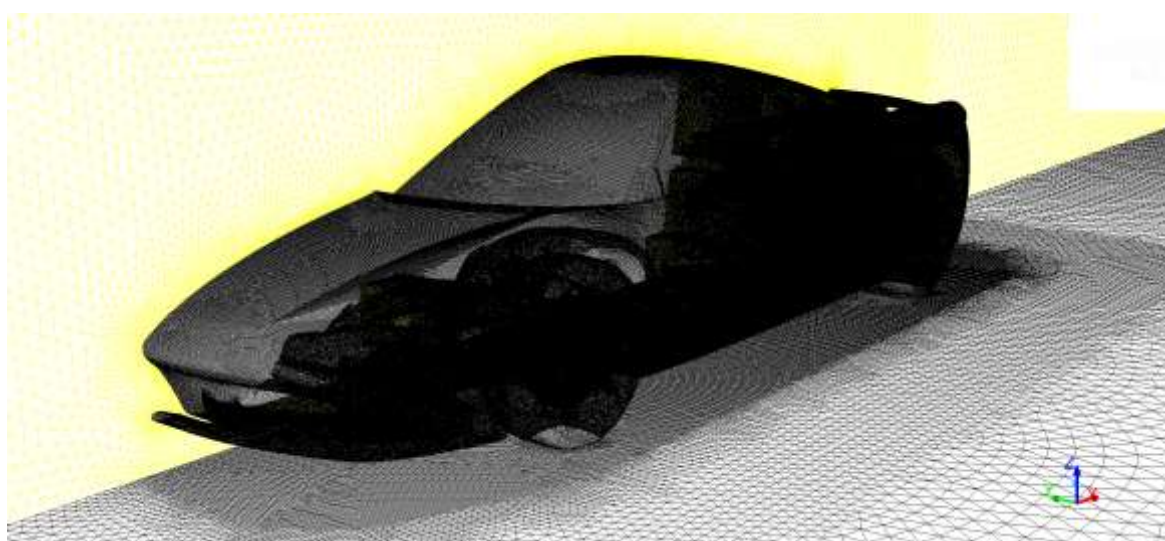


Figura 3.2: Auto in Fluent Solver®

Per la soluzione si è utilizzato il modello RANS con tipo di turbolenza $k-\epsilon$ *Realizable* con i settaggi di default sui coefficienti che caratterizzano il modello. È stato scelto tale modello in quanto è un modello largamente utilizzato e consolidato nella procedura CFD delle vetture oltre ad essere tra i modelli più rapidi a convergere e tra i meno impegnativi dal punto di vista computazionale.

Si impiega come funzione per il trattamento delle condizioni alla parete la *Non-Equilibrium Wall Function*, un'opzione ormai consolidata per il calcolo del flusso attorno alle automobili.

Queste ed altre informazioni della simulazione sono riportate nella Tabella 3.3:

Modello	
Simulazione	RANS
Tipo di turbolenza	<i>k-ε Realizable</i>
Trattamento delle condizioni alla parete	<i>Non-Equilibrium Wall Function</i>
Mezzo	
Fluido	<i>Aria (caratteristiche standard Fluent)</i>
Accoppiamento Pressione-velocità	
Schema	SIMPLEC
Discretizzazione spaziale	
Pressione	Standard
Quantità di moto	Second order upwind
Energia cinetica turbolenta	Second order upwind
Rateo dissipazione turbolenza	Second order upwind
Fattori di sotto-rilassamento	
Pressione	0.3
Densità	1
Forze sul corpo	1
Quantità di moto	0.8
Energia cinetica turbolenta	0.9

Tabella 3.3: Parametri simulazione

Il Journal di Run creato contiene i seguenti comandi che dicono al programma di:

- Caricare il file .cas salvato precedentemente
- Impostare il numero iterazioni da effettuare, la frequenza di salvataggio e di monitor.
- Inizializzare la soluzione
- Risolvere il problema aerodinamico
- Salvare i Report dei coefficienti aerodinamici
- Salvare il file .cas ed il file .dat con tutti i dati relativi alla soluzione

DEFINIZIONE DEI COEFFICIENTI AERODINAMICI

I coefficienti aerodinamici sono così definiti:

$$C_D = \frac{D}{\frac{1}{2} \rho S_{ref} V^2} \quad C_L = \frac{L}{\frac{1}{2} \rho S_{ref} V^2} \quad C_M = \frac{M}{\frac{1}{2} \rho S_{ref} V^2 L_{ref}}$$

Dove:

$S_{ref} = S_{front}/2$ è la superficie frontale di metà automobile

$L_{ref} = p$ è il passo della vettura

E le forze sono definite come in Figura 3.3

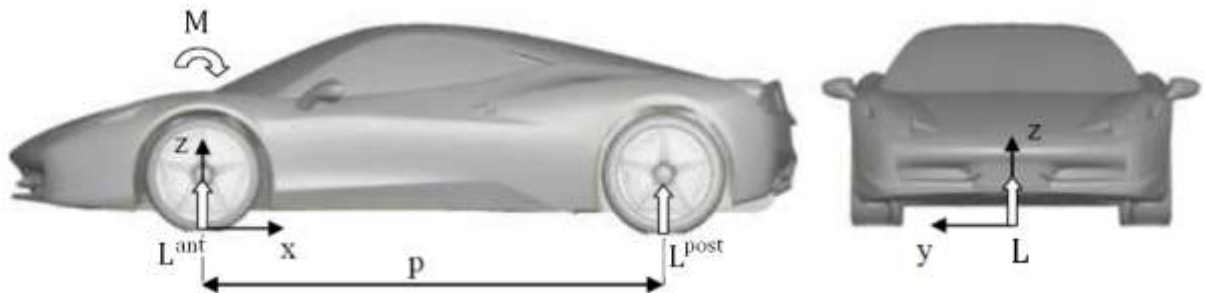


Figura 3.3: Forze Aerodinamiche

Il coefficiente di momento è calcolato rispetto all'asse corrispondente alla proiezione dell'asse delle ruote anteriori della vettura sul pavimento.

Efficienza aerodinamica e Bilanciamento sono invece definiti come:

$$E = -\frac{C_L}{C_D} \qquad Bal = \frac{C_L^{ant}}{C_L} = 1 + \frac{C_M}{C_L}$$

La seconda uguaglianza nella formula del bilanciamento si può ricavare da considerazioni di equilibrio.

CORREZIONE EFFETTO RADIATORI

Nella metà della vettura sono presenti 3 radiatori (Vedi Figure 2.4 e 2.6):

- radiatore condensatore
- radiatore dell'acqua
- radiatore dell'olio

I valori dei coefficienti aerodinamici calcolati da Fluent® non sono i valori dei coefficienti aerodinamici della vettura perché non tengono conto del contributo alle forze aerodinamiche dei salti di pressione attraverso i radiatori.

Per ottenere il valore dei coefficienti aerodinamici è necessario implementare una procedura di correzione dei coefficienti calcolati da Fluent® per tener conto dell'effetto dei radiatori.

La procedura implementata nell'ambito di questa tesi si articola così:

Viene chiesto a Fluent® di calcolare il valore della pressione agente sulle superfici (internal) di ingresso e di uscita ai radiatori.

Tramite il valore di tali pressioni, note le superfici dei radiatori, si possono calcolare le forze agenti sui radiatori dovute al salto di pressione tra inlet e outlet.

Calcolate tali forze e note le posizioni dei radiatori e la loro inclinazione si possono determinare i contributi dei radiatori ai coefficienti aerodinamici.

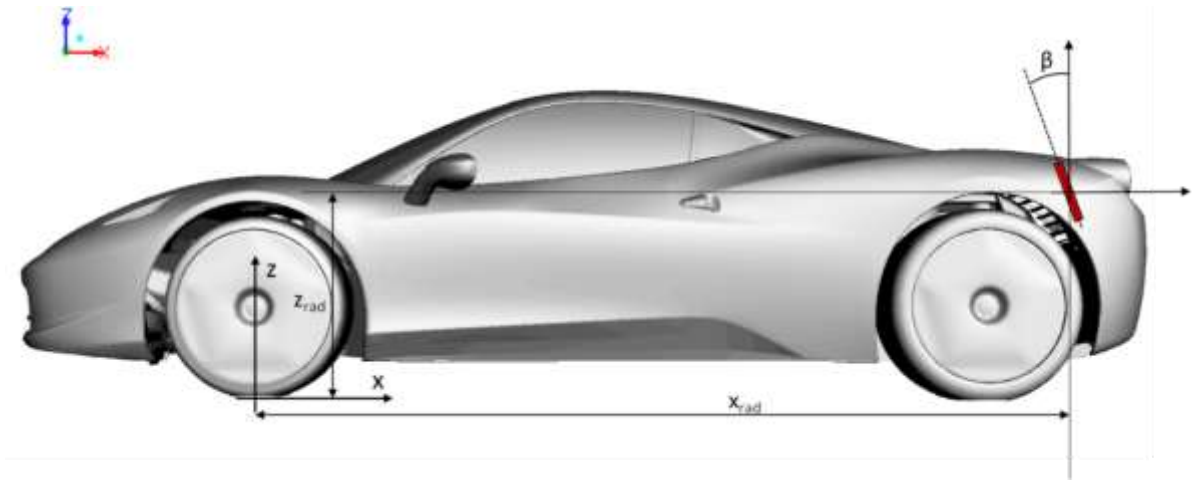


Figura 3.4: Correzione effetto radiatori

Ragionando in termini di forze e poi riportandosi in termini di coefficienti aerodinamici si ottengono le seguenti espressioni per i termini di correzione dei coefficienti:

Per ciascun radiatore:

$$\Delta C_D^{rad} = (C_P^{inlet} - C_P^{outlet}) \cdot \frac{S_{rad}}{S_{ref}} \cdot \cos \beta$$

$$\Delta C_L^{rad} = (C_P^{inlet} - C_P^{outlet}) \cdot \frac{S_{rad}}{S_{ref}} \cdot \sin \beta$$

$$\Delta C_M^{rad} = (C_P^{inlet} - C_P^{outlet}) \cdot \frac{S_{rad}}{S_{ref}} \cdot \left(-\frac{x_{rad}}{L_{ref}} \cdot \sin \beta + \frac{z_{rad}}{L_{ref}} \cdot \cos \beta \right)$$

Dove:

C_P^{inlet} e C_P^{outlet} : sono i valori dei C_P medi rispettivamente sulle superfici di ingresso e di uscita del radiatore.

S_{rad} : è il valore della superficie del radiatore

β : è l'angolo di inclinazione del radiatore tra il piano yz e la superficie del radiatore

x_{rad} e z_{rad} : sono le coordinate x e z della posizione del baricentro del radiatore.

I valori dei coefficienti corretti valgono:

$$C_D = C_D^{Fluent} + \Delta C_D^{rad_{cond}} + \Delta C_D^{rad_{H_2O}} + \Delta C_D^{rad_{olio}}$$

$$C_L = C_L^{Fluent} + \Delta C_L^{rad_{cond}} + \Delta C_L^{rad_{H_2O}} + \Delta C_L^{rad_{olio}}$$

$$C_M = C_M^{Fluent} + \Delta C_M^{rad_{cond}} + \Delta C_M^{rad_{H_2O}} + \Delta C_M^{rad_{olio}}$$

L'automatizzazione di questa procedura di correzione, assieme a quella relativa alle media dei valori sulle ultime iterazioni, effettuata tramite Excel, sarà illustrata al termine del capitolo successivo.

Capitolo 4: ModeFRONTIER®

Il programma utilizzato per eseguire l'ottimizzazione è modeFRONTIER®.



Logo di modeFRONTIER ®

Esteco modeFRONTIER® è un ambiente di progettazione ed ottimizzazione multi-obiettivo e può essere collegato a programmi di analisi strutturale o fluidodinamica.

La forza di modeFRONTIER® è avere integrati una serie di algoritmi genetici che effettuano generazione di variabili in base all'avvicinarsi all'obiettivo delle variabili della generazione precedente.

Vari programmi di comune uso ingegneristico sono facilmente interfacciabili con modeFRONTIER tramite appositi nodi (Excel, Matlab, Ansys, Star-CCM+, ...).

ModeFrontier permette di realizzare vari grafici e mappe, bi- e tri- dimensionali, per l'analisi dei risultati delle configurazioni generate che permettono di mettere in risalto, in maniera visiva, le caratteristiche di tali configurazioni.

Si possono mettere dei vincoli sulle variabili desiderate, così che l'ottimizzazione penalizzi od escluda le configurazioni che non rispettano tali vincoli.

Le operazioni e l'ordine con cui devono essere eseguite viene creato dall'utente sotto forma di schema logico collegando i nodi che il programma mette a disposizione.

Fondamentale per la tesi in questione è stato il nodo ANSA®.

Questo nodo permette di interfacciarsi con facilità con il Programma Beta Cae ANSA®: il nodo ANSA riconosce automaticamente le variabili di disegno impostate in ANSA® (parametri dell'ottimizzazione) e le importa su modeFRONTIER®, fa eseguire al programma i comandi precedentemente registrati nell'Optimization task, riconosce il file di mesh generato e lo imposta come file di output.

Inoltre nella cartella che crea il programma relativa al nodo ANSA, assieme al file di mesh in uscita da ANSA®, viene salvato un file di testo con i valori dei parametri della configurazione specifica.

SCHEMA LOGICO DELL'OTTIMIZZAZIONE

Viene di seguito riportato il Workflow realizzato per l'ottimizzazione in questione:

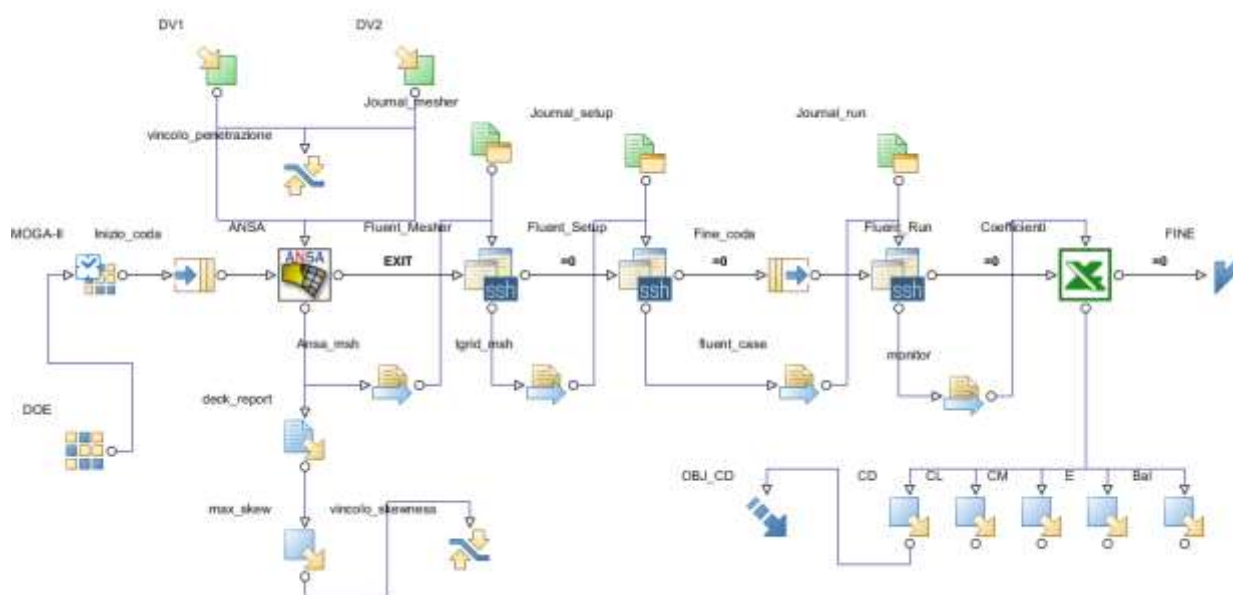


Figura 4.1: Architettura dell'ottimizzazione

Si descrivono di seguito i nodi presenti nello schema logico in questione:

Nodo DOE



Nel nodo DOE è identificato il numero di elementi per ciascuna generazione.

Definisce il modo in cui vengono generati gli elementi della prima generazione.

L'algoritmo scelto è il Sobol che genera combinazioni di parametri uniformemente distribuiti nello spazio di disegno.

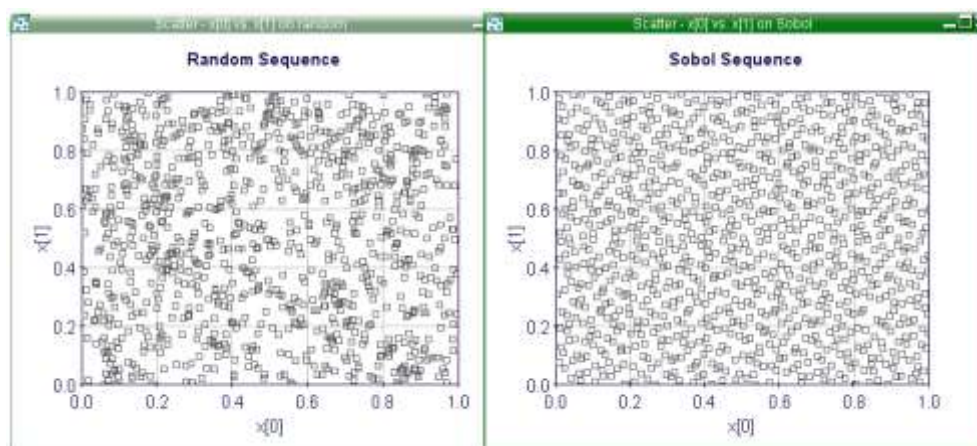


Figura 4.2: Differenza tra algoritmo Random e Sobol

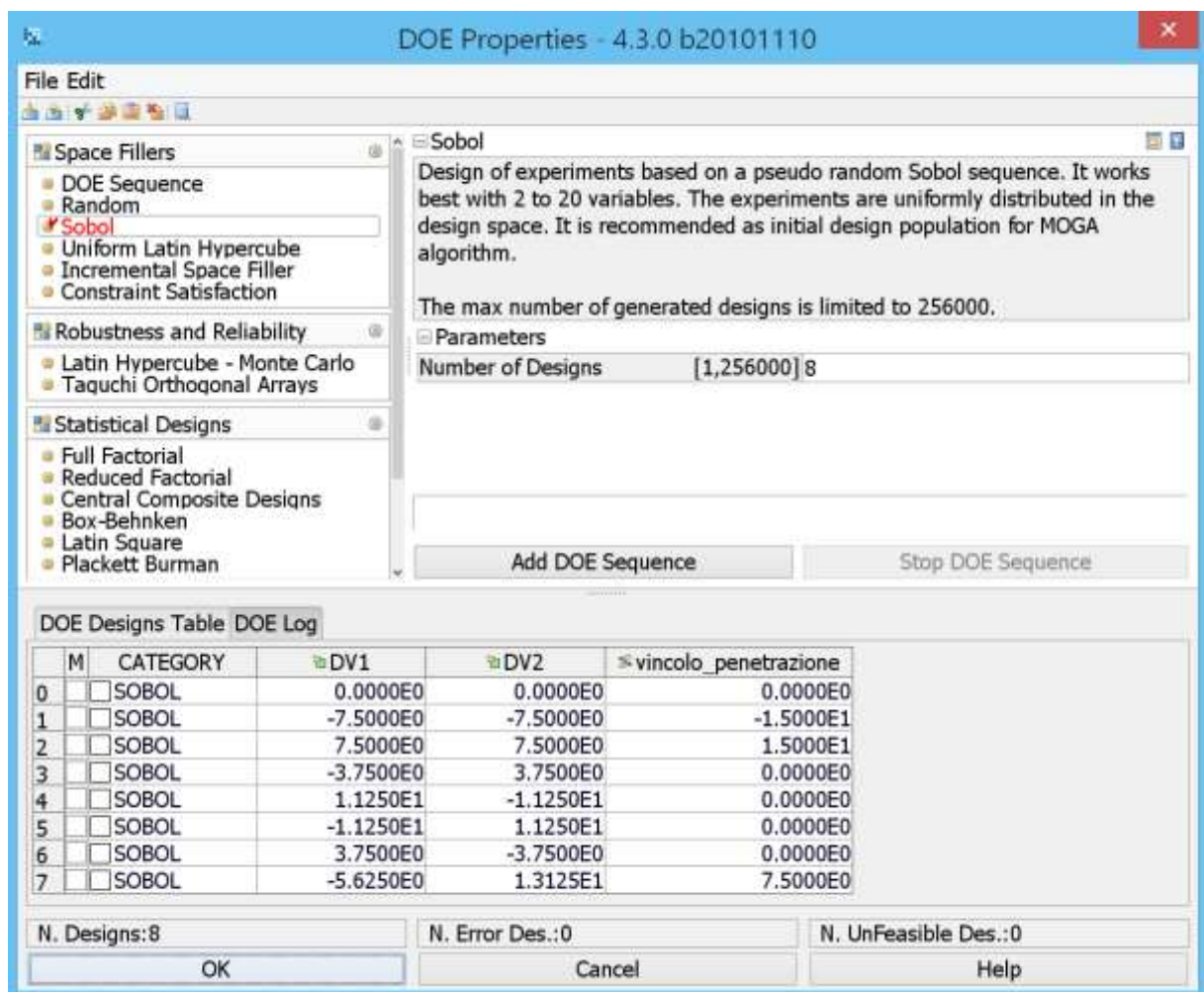


Figura 4.3: Proprietà DOE

Nodo MOGA-II

È il nodo in cui viene scelto il tipo di algoritmo genetico utilizzato.

L'algoritmo genetico scelto è il MOGA-II.



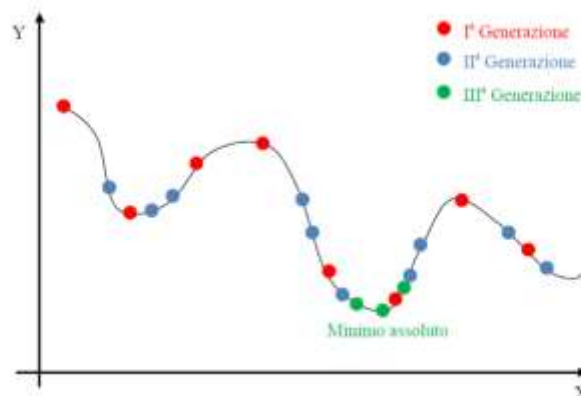


Figura 4.4: Algoritmo genetico

L'algoritmo MOGA-II è un algoritmo genetico che si basa sugli stessi processi con cui avviene l'evoluzione in natura. I vantaggi rispetto ad algoritmi classici al gradiente sono da ricercarsi nella maggiore robustezza, in quanto sono in grado di trovare il minimo assoluto della funzione pur partendo da condizioni sfavorevoli.

Lasciate tutte le impostazioni di generazione uguali a quelle di default si è scelto di impostare 100 generazioni e di interrompere la soluzione una volta che si è riterrà identificata la zona di ottimo.

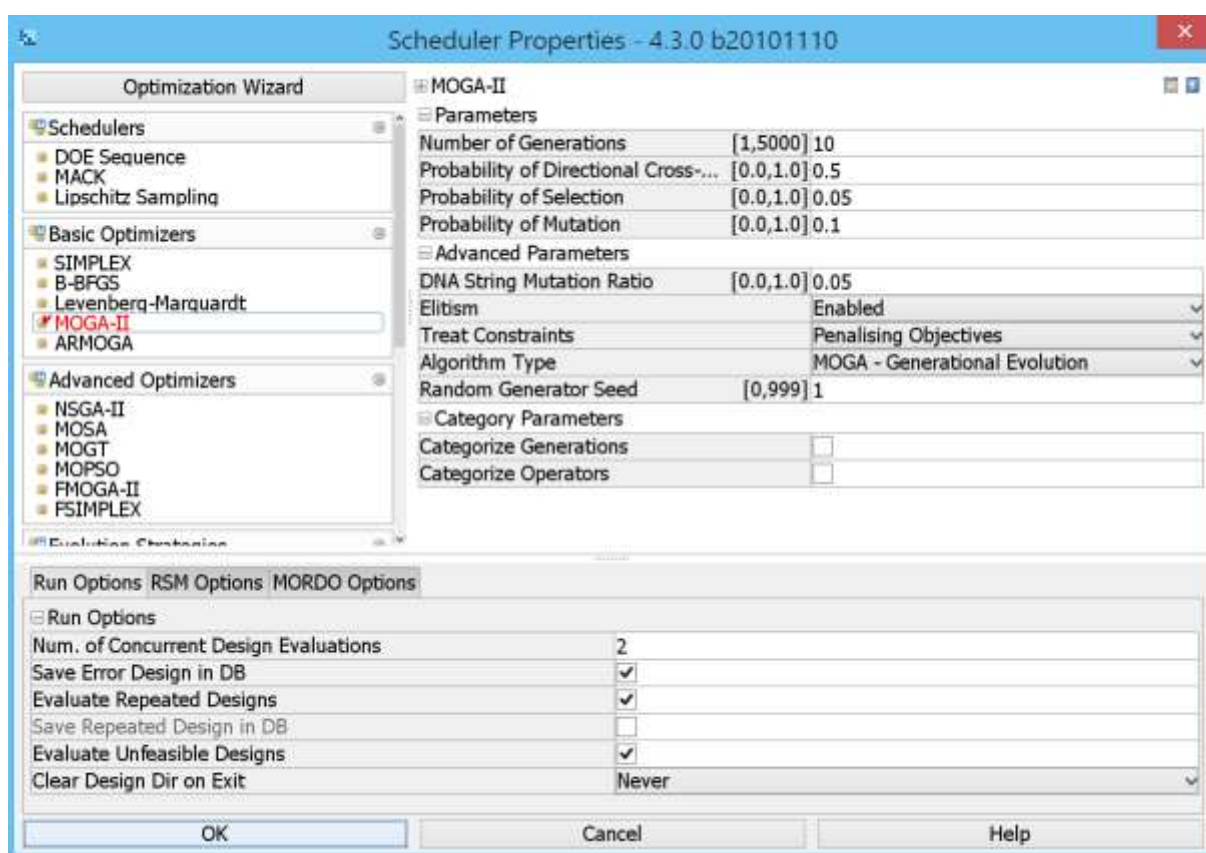


Figura 4.5: Proprietà Algoritmo Genetico

In questo nodo viene impostato anche il numero di elementi che possono percorrere il ciclo contemporaneamente (Concurrent Design Evaluations). Nel nostro caso Concurrent=2.

Il perché di tale scelta è spiegato in merito al nodo Queue

Nodi input DV1 e DV2



Rappresentano i due parametri dell'ottimizzazione.

$$-15 < DV1 < 15$$

$$-15 < DV2 < 15$$

Figura 4.6: Proprietà variabile di input

Per la descrizione delle Design Variable vedere il capitolo Ansa.

Vincolo penetrazione:

Vincolo per cui il programma genera soltanto elementi con DV1 e DV2 tali che:



$$DV1 + DV2 > -20$$

Così non vengono generate molte combinazioni che verrebbero comunque scartate per l'intersezione tra la superficie dello spoiler e quella del sostegno del radiatore dell'olio.

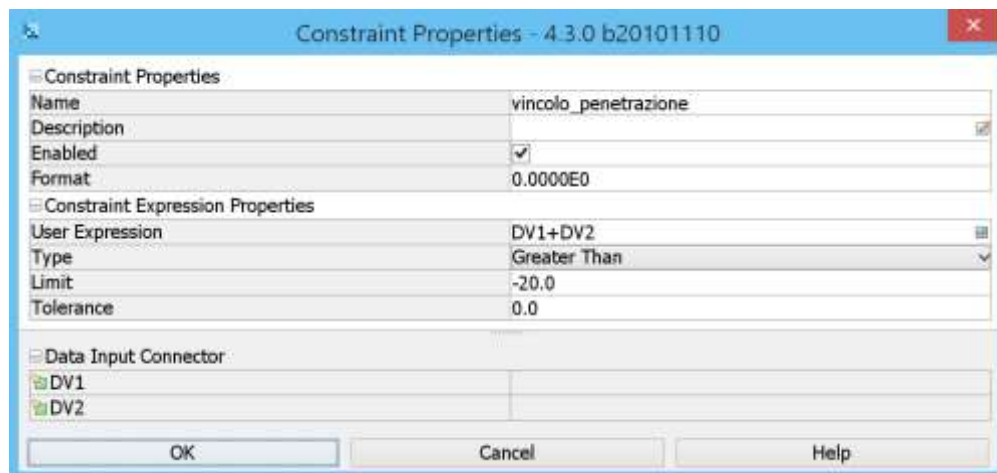
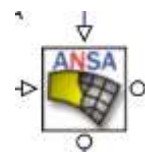


Figura 4.7: Proprietà vincolo penetrazione

Nodo ANSA

In questo nodo devono essere selezionati:

- il file di ANSA® nel quale è presente l'Optimization task
- il DV file generato da ANSA® con i valori dei parametri DV1 e DV2 per l'elemento specifico
- il nome del file di Mesh generato da ANSA®



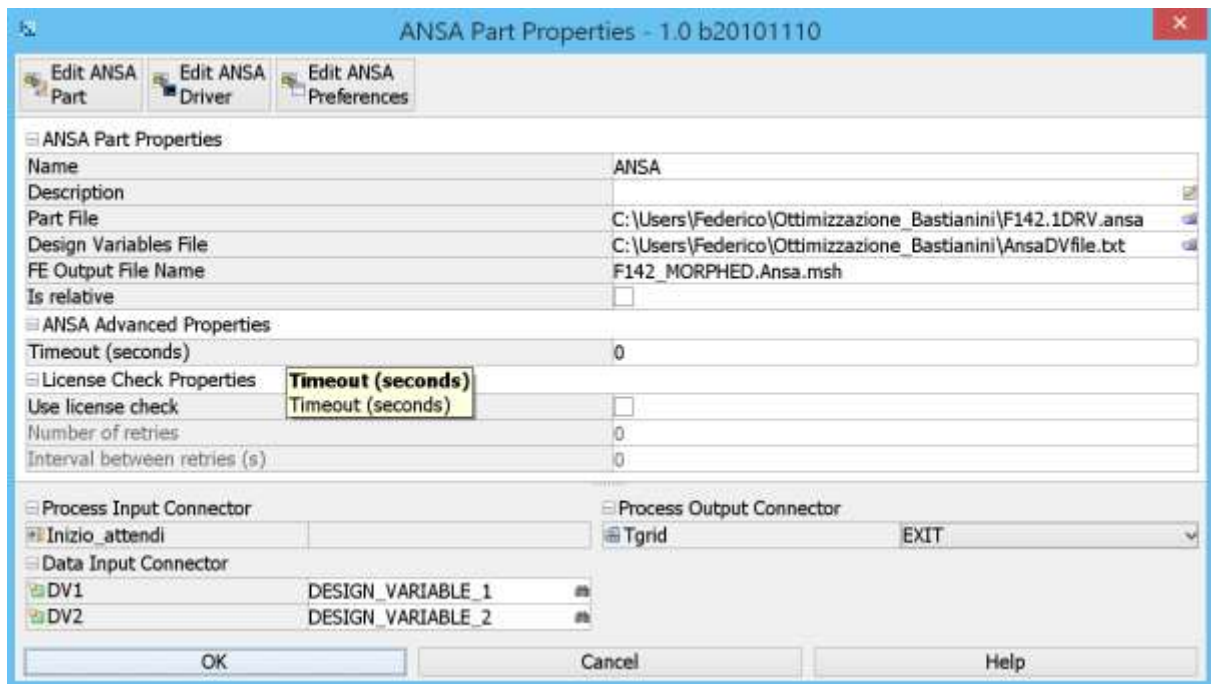


Figura 4.8: Proprietà nodo ANSA

Nodo Output file deck report

Viene selezionato il file di deck report che salva ANSA® per individuare il valore della massima skewness superficiale degli elementi di mesh modificati tramite il morphing.

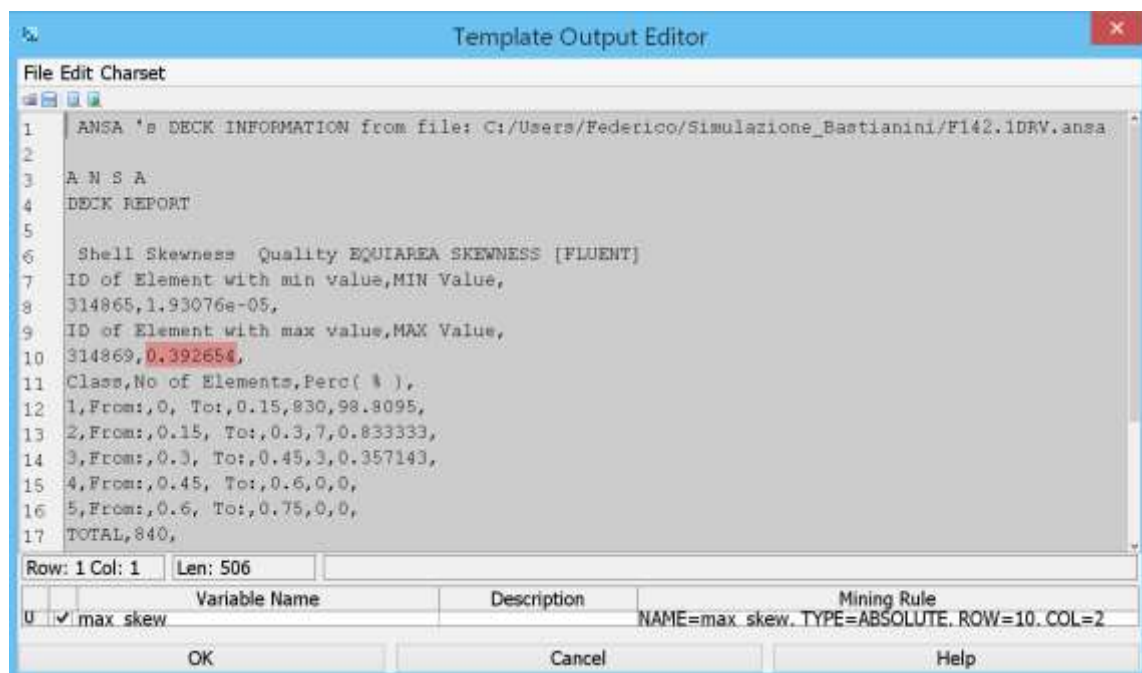


Figura 4.9: Template del file di output

Vincolo skewness superficiale

Vincolo che va a scartare tutte le configurazioni per cui la massima skewness superficiale degli elementi di mesh modificati supera il valore 0.75.

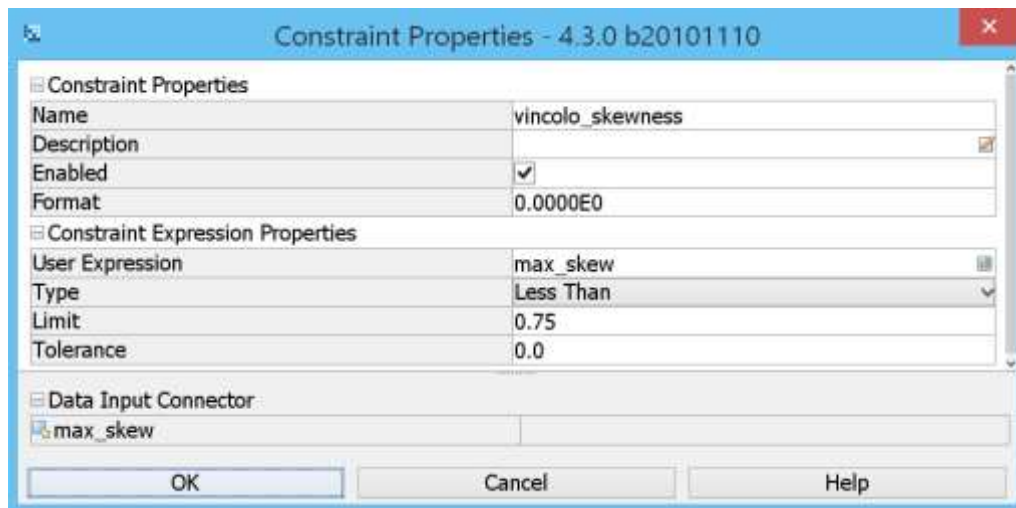


Figura 4.10: Proprietà vincolo skewness

Nodi transfer file



Consentono di copiare il file da un nodo in un altro.

Sono usati per copiare i file

- mesh di superficie di ANSA® al nodo Fluent_Mesher
- mesh di volume del mesher al nodo Fluent_Setup
- .cas in uscita dal setup al nodo Fluent_Run sul Cluster
- .his dei monitor dei coefficienti dal nodo Fluent_Run al nodo Excel

Per alcuni file è stata spuntata la voce move che trasferisce direttamente i file senza copiarli.

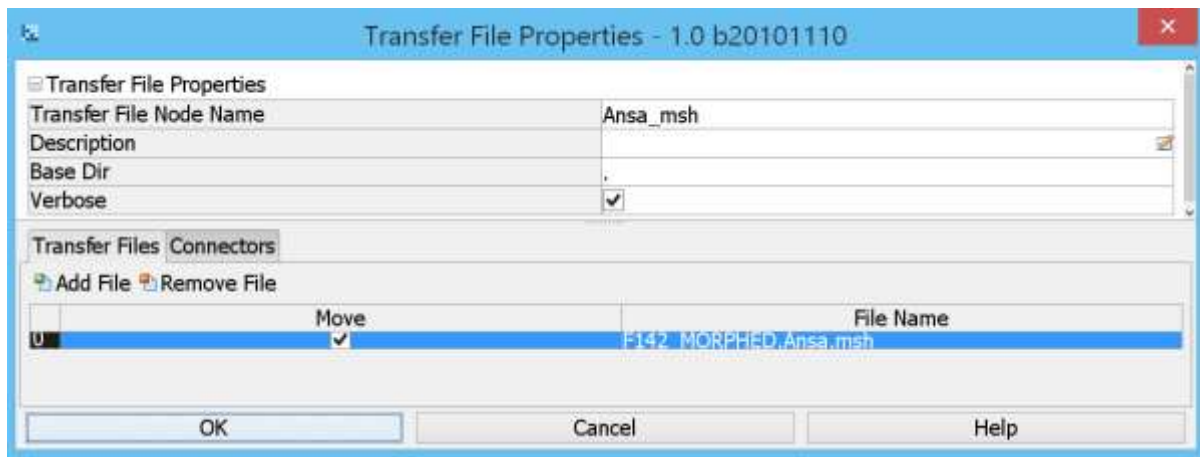


Figura 4.11: Proprietà Transfer File

Nodi support file

File di supporto che vengono copiati da una specifica cartella del computer alla cartella relative al nodo a cui il support file è collegato.

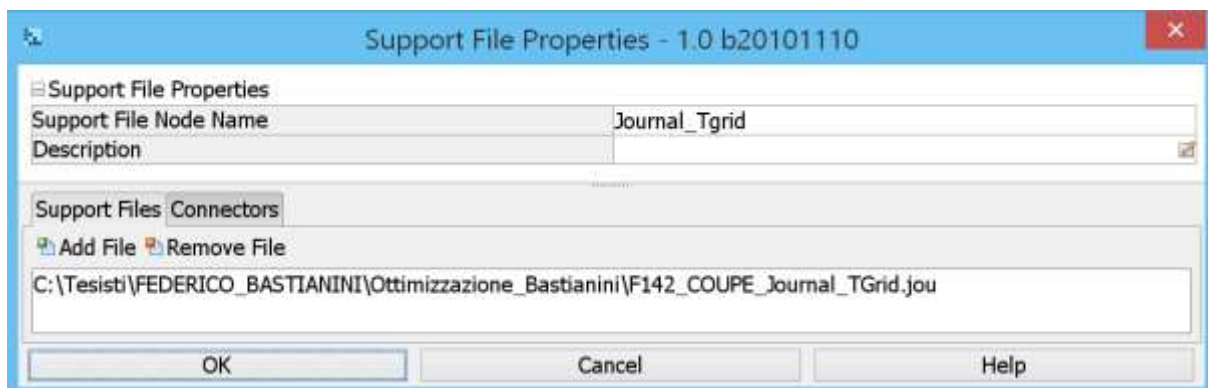


Figura 4.12: Proprietà support file journal Fluent Mesher

I nodi support file sono usati per caricare nelle apposite cartelle i Journal di Fluent.

Nodo ssh Fluent_Mesher

Lancia la generazione della mesh di volume via remoto caricando l'apposito Journal di Fluent®.



Nodo ssh Fluent_Setup

Lancia la generazione della del caso via remoto caricando l'apposito Journal di Fluent®.

Nodo ssh Fluent_Run

Lancia la soluzione del caso sul cluster caricando l'apposito Journal di Fluent®.

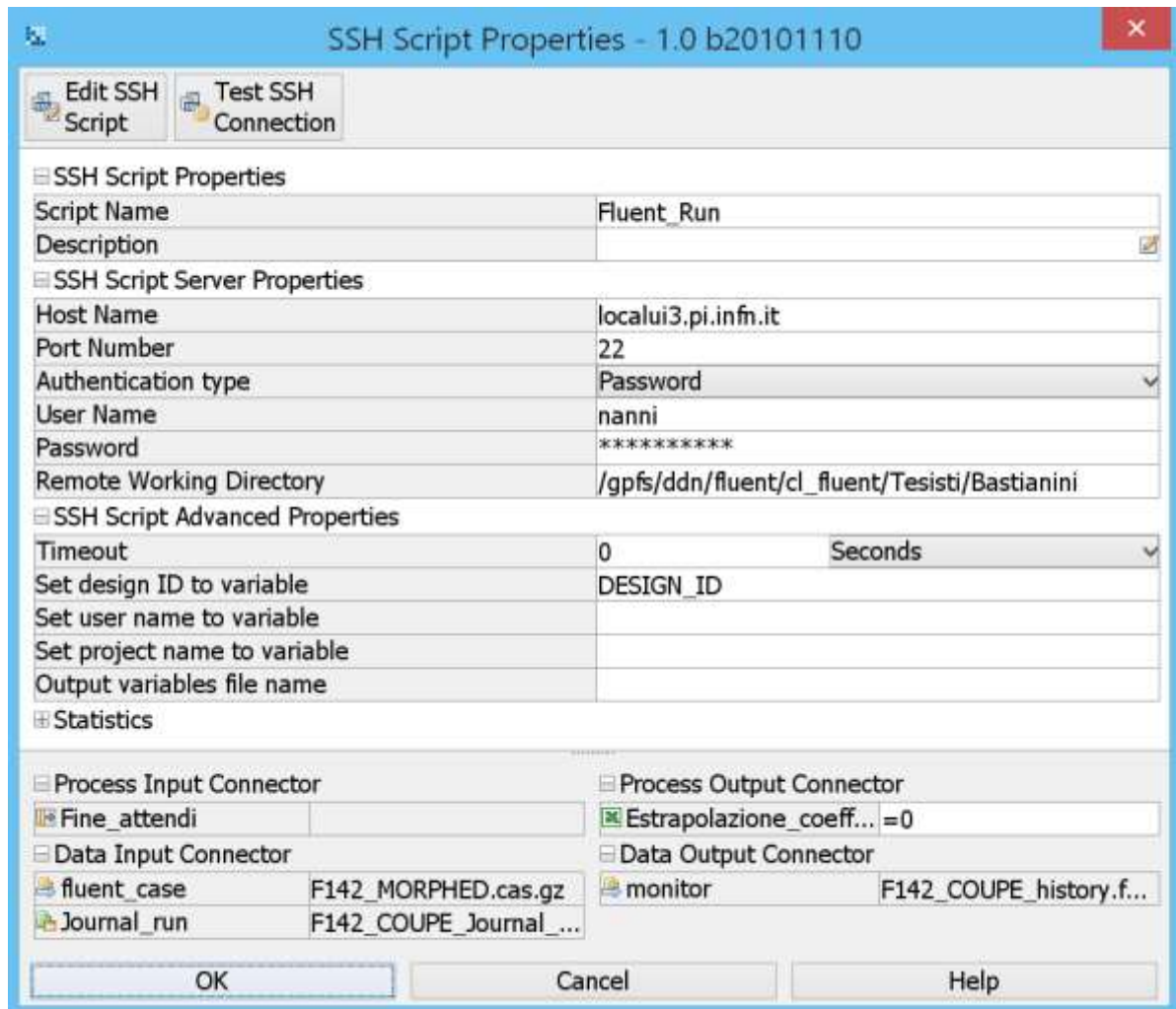


Figura 4.13: Proprietà nodo SSH Fluent_Run

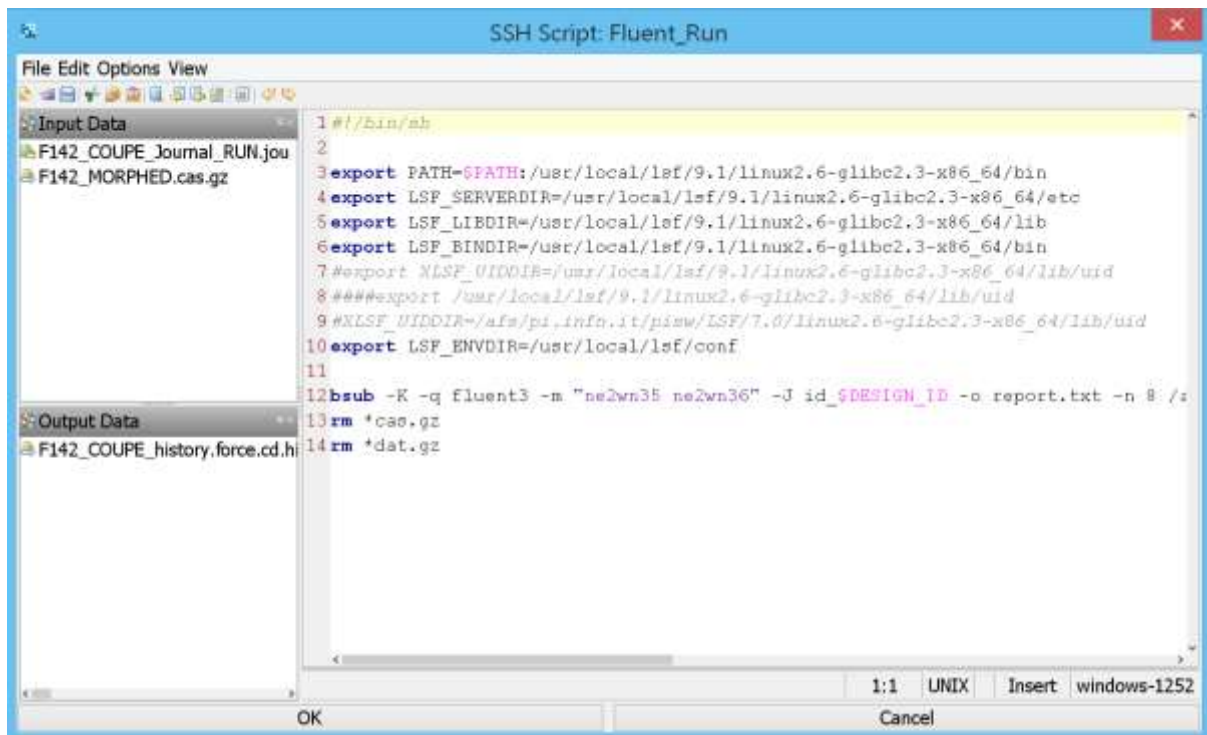


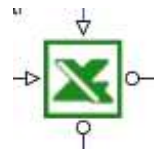
Figura 4.14: Script del nodo SSH Fluent_RUN

Nodo Excel

Deve essere selezionato il file di excel e il nome della macro da lanciare.

Rispetto alle impostazioni di default del nodo è stata spuntata l'opzione save workbook in working dir che terminata la macro salva una copia del file excel nella cartella relativa.

Tramite il pulsante di selezione interattiva si selezionano le celle relative ai dati di interesse.



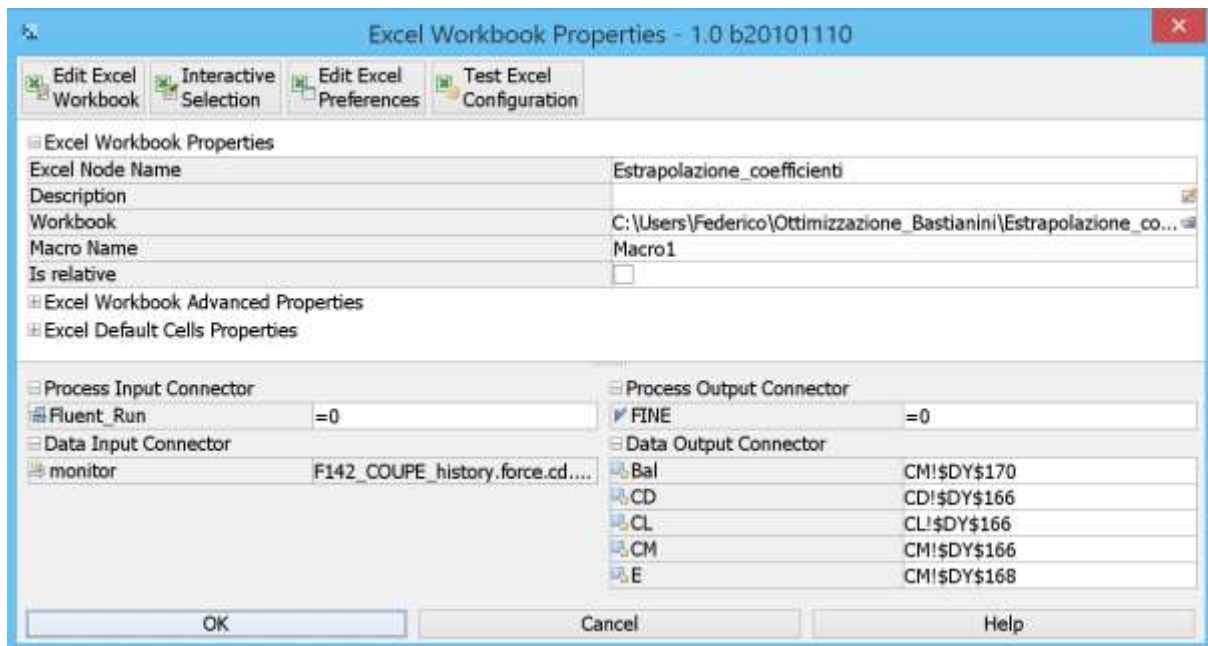


Figura 4.15: Proprietà nodo Excel

DESCRIZIONE MACRO EXCEL

Per poter avere i valori dei coefficienti mediati sulle ultime 500 iterazioni è stato necessario creare un foglio Excel che facesse tale calcolo.

Nel foglio Excel vengono importati i dati dai monitor dei coefficienti aerodinamici C_D , C_L e C_M e i dati dai monitor dei C_p sulle superfici di ingresso ed uscita ai radiatori.

Nel foglio Excel sono dunque presenti le formule descritte nel capitolo Fluent Solver® per la correzione dei coefficienti aerodinamici con il contributo dei radiatori oltre alle formule per il calcolo della media dei coefficienti sulle ultime 500 iterazioni.

Iterations	crl_conv_rad_olio	crl_conv_rad_olio-shadow	crb_engine_cover_rear_cutted.bl-shadow	morpid-shadow	crl_condotto_aspirazione-shadow	crb_underbody_2.bl-sha
25	-0,0165137	0,0388789	-0,0019210	0,0336166	0,0043809	0,000
50	-0,0139825	0,0054212	-0,0000864	0,0065528	0,0001685	-0,000
75	-0,0183254	-0,0066971	0,0002082	0,0001943	0,0006777	-0,000
100	-0,0186184	-0,0016680	0,0002086	-0,0005570	0,0002552	-0,000
125	-0,0160017	-0,0045718	0,0003614	-0,0027081	0,0006519	-0,000
150	-0,0154089	-0,0049208	0,0003672	-0,0031709	0,0009285	-0,000
175	-0,0144728	-0,0048059	0,0003676	-0,0033331	0,0010152	-0,000
200	-0,0121063	-0,0044484	0,0003425	-0,0031931	0,0009684	-0,000
225	-0,0112939	-0,0044484	0,0003292	-0,0029822	0,0010630	-0,000
250	-0,0111369	-0,0044059	0,0003105	-0,0028360	0,0012241	-0,000
275	-0,0111808	-0,0047470	0,0003149	-0,0030073	0,0014726	-0,000
300	-0,0109469	-0,0048486	0,0003297	-0,0031102	0,0015916	-0,000
325	-0,0109707	-0,0049271	0,0003295	-0,0031658	0,0016130	-0,000
350	-0,0105238	-0,0047587	0,0003143	-0,0030580	0,0015119	-0,000
375	-0,0106556	-0,0049142	0,0003206	-0,0031380	0,0014690	-0,000
400	-0,0105145	-0,0050787	0,0003298	-0,0032420	0,0014624	-0,000
425	-0,0090285	-0,0051007	0,0003303	-0,0032488	0,0014355	-0,000

Figura 4.16: Foglio di Excel per la correzione dei coefficienti

Poiché il caricamento dei dati dei monitor nel foglio Excel deve essere eseguito in maniera automatizzata da modeFRONTIER è stato necessario creare una macro per l'importazione automatica dei file di testo dei monitor.

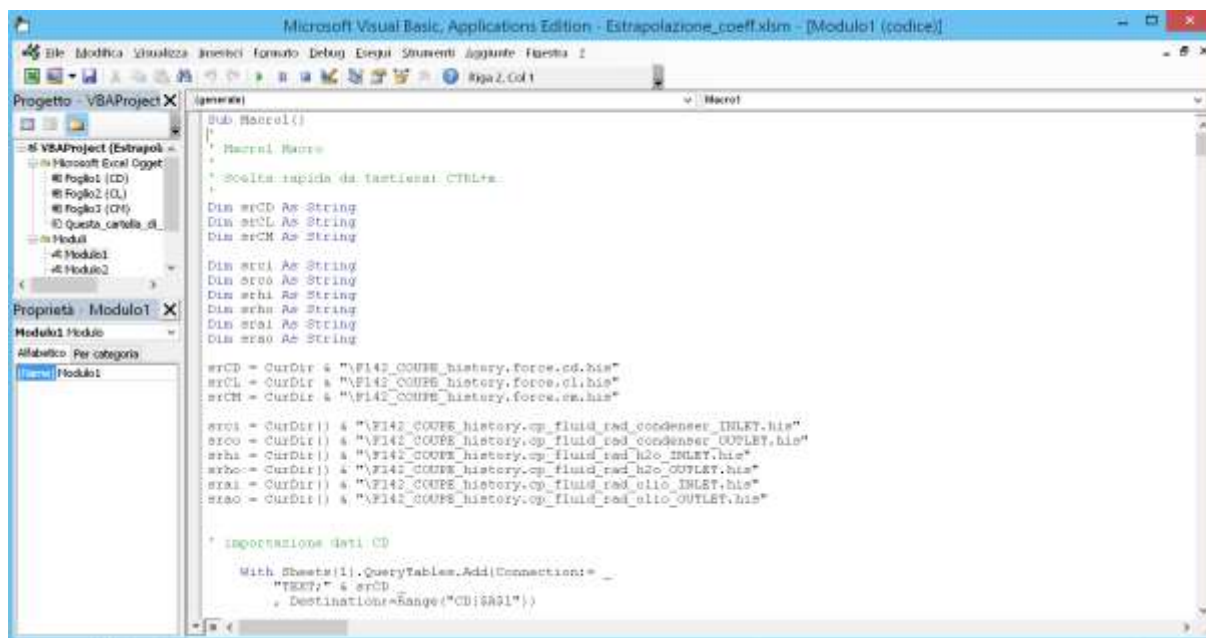


Figura 4.17: Macro di Excel per la correzione dei coefficienti

Le celle in cui vengono calcolati i coefficienti mediati saranno poi selezionate da modeFRONTIER® per estrapolarne i valori dei coefficienti richiesti.

Nodi output variable: C_D C_L C_M E Bal

Rappresentano i valori delle grandezze che vengono acquisiti da determinate celle del file Excel.



Nodo obiettivo

Contiene l'espressione della grandezza che si vuole massimizzare o minimizzare
Nel nostro caso il valore dell'obiettivo coincide con il valore del C_D .

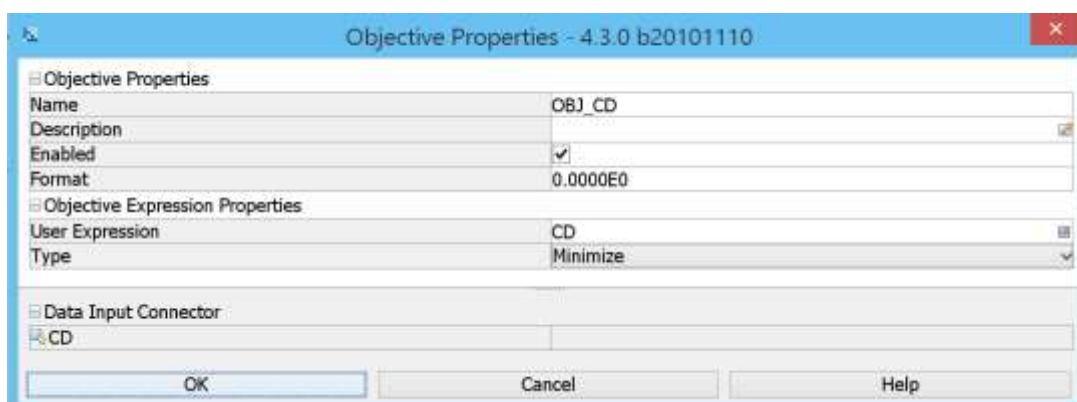
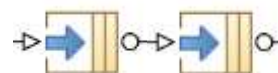


Figura 4.18: Nodo obiettivo

Nodi Queue



I nodi Queue definiscono il massimo numero di simulazioni che posso essere eseguite in contemporanea tra il nodo Queue di inizio e quello di fine.

Nel nostro caso è stato posto concurrent evaluations=1.

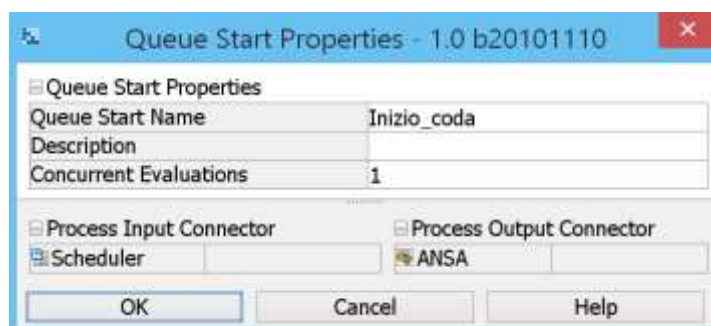


Figura 4.19: Queue start

Il Queue start è stato messo prima del nodo ANSA mentre il Queue end prima del nodo di Run.

Questo è stato fatto per evitare di eseguire più di un software contemporaneamente nei PC del Dipartimento, ma nel contempo per permettere di eseguire due concurrents sul Cluster Remoto.

Facendo come descritto si evita che il Cluster Remoto resti, per ogni esperimento, in attesa del caso dal Setup ma si fa sì che ci sia sempre almeno una simulazione in processo.

Capitolo 5: Analisi di Sensibilità

Al fine di trovare il livello di infittimento della mesh di volume che permetta di coniugare i requisiti contrastanti di limitazione dei costi computazionali ed accuratezza richiesta è stata fatta un'analisi di sensibilità all'infittimento della griglia di volume.

Sono state generate tre diverse mesh di volume variando i Growth Rate del dominio e dei box di infittimento.

Il Growth Rate rappresenta la ragione della progressione geometrica che definisce il rapporto tra il volume di celle adiacenti appartenenti a due strati di mesh successivi; al diminuire di questo parametro aumenta il numero di celle presenti nel dominio.

Così facendo non cambia il numero di celle di volume in contatto con le superfici dell'auto, che sono date dalla dimensione della mesh di superficie, ma cambia la velocità con cui le celle passano dalla dimensione che hanno sulle superfici dell'auto alla dimensione che hanno agli estremi del dominio.

Le caratteristiche delle tre configurazioni di mesh di volume chiamate GR106, GR110 e GR115 sono riportate nella seguente tabella.

	GR106	GR110	GR115
Grow Rate (generale)	1.06	1.10	1.15
Grow Rate (box auto)	1.06	1.10	1.15
Grow Rate (box scia)	1.02	1.05	1.10
Numero di celle	33'778'000	21'027'000	15'112'000
Skewness media	0.2167	0.2210	0.2291

Tabella 5.1: Caratteristiche configurazioni analisi di sensibilità

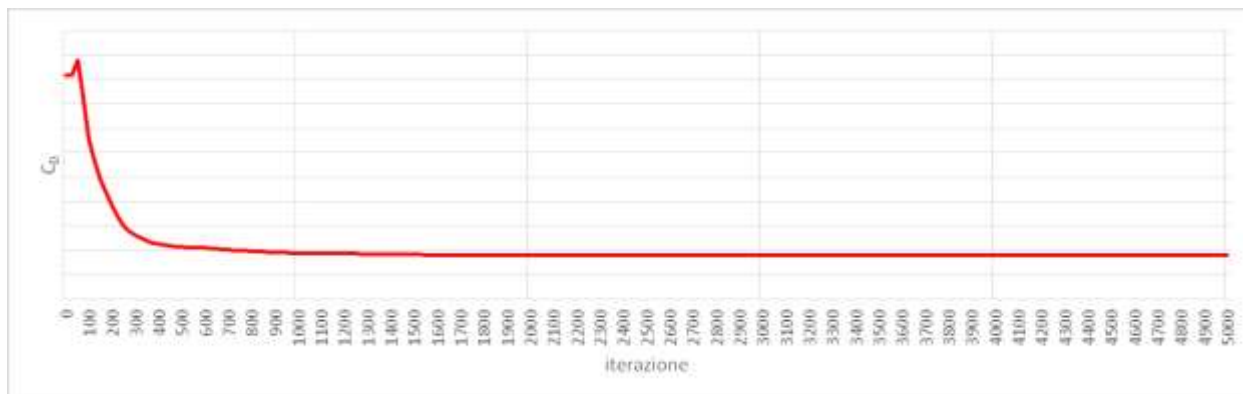
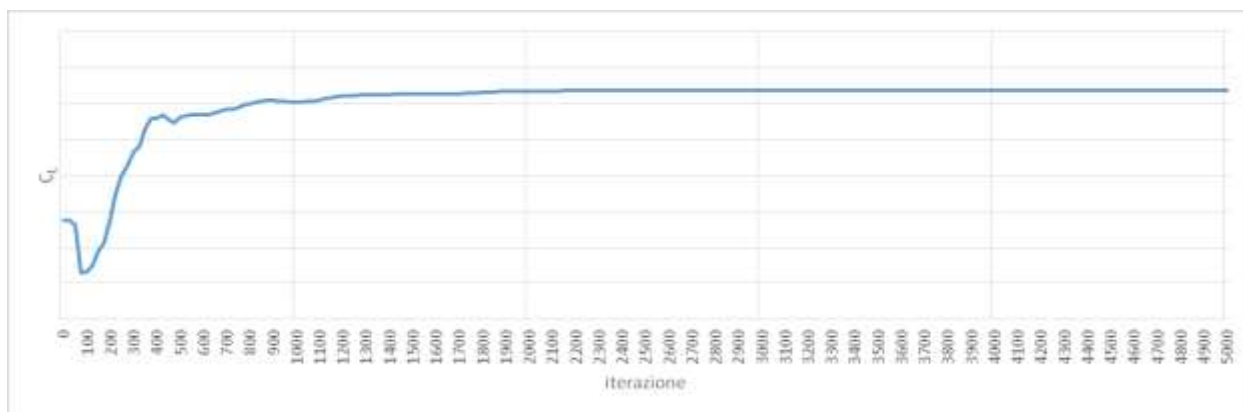
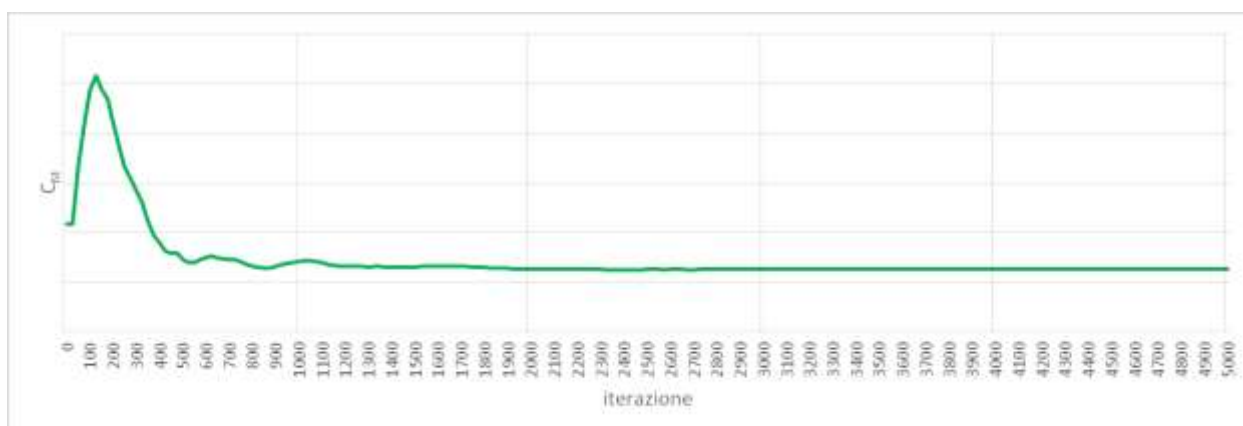
Sono state dunque eseguite le tre simulazioni con i parametri di soluzione come descritti nel capitolo Fluent Solver®.

Si definisce l'unità punto come 0.01

Si definisce l'unità count come 0.0001

Si riportano di seguito i grafici rappresentanti gli andamenti dei coefficienti aerodinamici durante le 5'000 iterazioni per il caso GR110.

RISULTATI SIMULAZIONE GR110

Figura 5.1: C_D per la simulazione GR110Figura 5.2: C_L per la simulazione GR110Figura 5.3: C_M per la simulazione GR110

Si riportano nelle seguenti tabelle i risultati delle tre simulazioni:

	GR106	GR110	GR115
Iter. convergenza	4'400	2'600	3'300
AOC_{C_D} (count)	2.5	1.5	2.3
δC_D (punti)	0	0.19	0.46
δC_D (% C_D)	0	≈ 0.5	≈ 1.2

Tabella 5.2: Risultati andamento C_D

	GR106	GR110	GR115
Iter. convergenza	4'200	3'600	3'600
AOC_{C_L} (count)	4.7	3.4	2.6
δC_L (punti)	0	0.03	0.53
δC_L (% C_L)	0	≈ 0.2	≈ 3.2

Tabella 5.3: Risultati andamento C_L

	GR106	GR110	GR115
Iter. convergenza	4'300	3'900	3'600
AOC_{C_M} (count)	3.3	2.8	2.3
δC_M (punti)	0	0.25	0.32
δC_M (% C_M)	0	≈ 2.0	≈ 2.6

Tabella 5.4: Risultati andamento C_M

Il numero di iterazioni a convergenza riportato nelle Tabelle 5.2, 5.3, e 5.4 è un valore indicativo estrapolato dall'analisi degli andamenti dei coefficienti.

Il valore dell'ampiezza dell'oscillazione a convergenza (AOC), che rappresenta il livello di instabilità della soluzione, è calcolato tramite la seguente formula.

$$AOC_{C_D} = \frac{\max(C_D) - \min(C_D)}{2}$$

$$\text{con } C_D(\text{iter}) \quad \text{con } 4'000 < \text{iter} < 5'000$$

e analogamente per C_L e C_M

I Valori degli scostamenti dei coefficienti dai valori della configurazione di riferimento (GR106) sono dati dalle seguenti formule:

$$\delta C_D^{GR106} = C_D^{GR106} - C_D^{GR106} = 0$$

$$\delta C_D^{GR110} = C_D^{GR110} - C_D^{GR106}$$

$$\delta C_D^{GR115} = C_D^{GR115} - C_D^{GR106}$$

e analogamente per C_L e C_M

Si riporta di seguito il grafico delle differenze dei valori dei coefficienti aerodinamici rispetto a quelli della configurazione di riferimento in funzione del numero di celle.

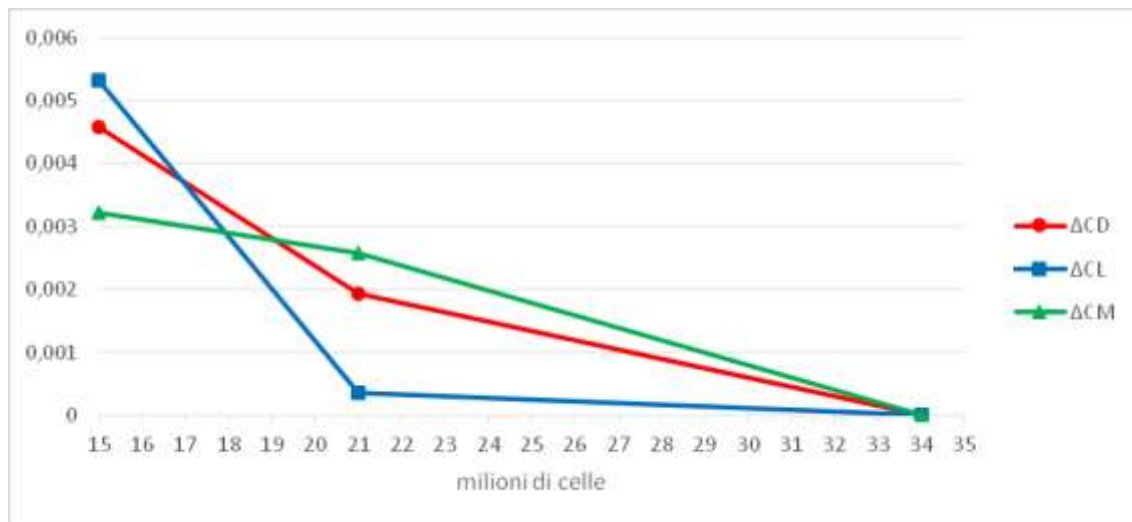


Figura 5.4: Analisi di sensibilità

I Tempi di Run della simulazione sono stati:

GR106: 6 h 0 min

GR110: 2 h 30 min

GR115: 1 h 30 min

Poiché

- il valore del C_D a convergenza della simulazione GR115 è troppo lontano del valore della simulazione di riferimento ($\delta C_D^{GR106} \approx 1.2\%$).
- Il valore delle oscillazioni della simulazione GR110 è il più piccolo tra le tre simulazioni ($AOC_{CD}^{GR110} = 1.5 \text{ count}$).
- Il tempo necessario alla simulazione per la GR106 è troppo elevato (circa 6 h).

Si sceglie il livello di mesh GR110.

Poiché

- le ultime 1'000 iterazioni per la simulazione GR110 non aggiungono niente ai risultati si decide di limitarsi ad effettuare 4'000 iterazioni.

I valori dei C_D si ricavano dalla media dei valori del C_D che si ottengono tra le iterazioni 3'500 e 4'000: Così facendo si riduce il rischio che due configurazioni praticamente identiche restituiscano valori del C_D differenti fino a 3 count a causa dell'oscillazione della soluzione a convergenza, contando anche che per le configurazioni modificate le ampiezze delle oscillazioni a convergenza potrebbero essere ancora maggiori.

Capitolo 6: Analisi dei Risultati

In questo capitolo si analizzano i risultati dell'ottimizzazione con gli strumenti di ModeFRONTIER®.

L'ottimizzazione è stata arrestata dopo 6 generazioni, cioè dopo la creazione di $8 \times 6 = 48$ elementi. Delle 48 configurazioni 16 sono stati elementi ripetuti, 2 configurazioni con intersezione e 30 sono state quelle effettivamente simulate.

Abbiamo arrestato manualmente l'ottimizzazione dopo 6 generazioni perché ad esserci numerosi elementi ripetuti, le configurazioni tendevano ad andare verso la condizione di intersezione del MORPID con il radiatore e perché le soluzioni valide che si ottenevano comunque comportavano una eccessiva perdita di carico deportante.

Si riporta di seguito la mappa delle configurazioni generate in termini dei parametri di input DV1 e DV2.

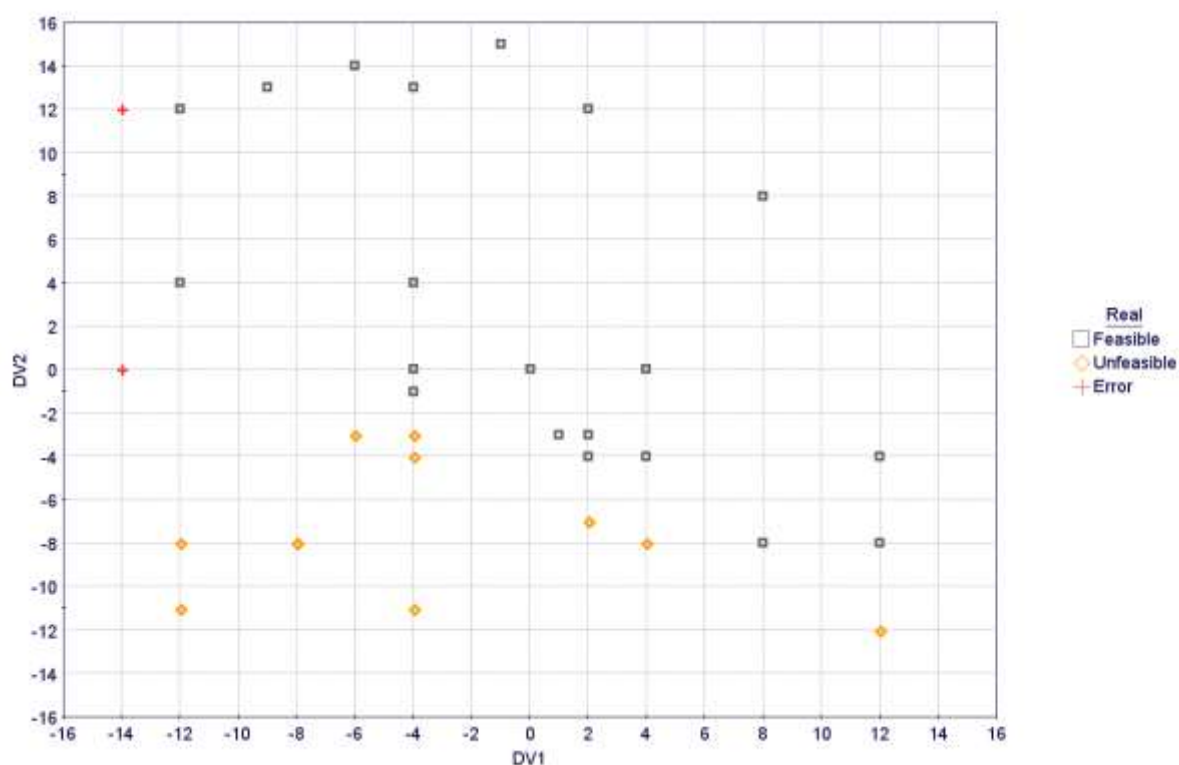


Figura 6.1: Scatter chart DV1 DV2

Nella Scatter Chart è illustrata la disposizione delle configurazioni generate.

Le configurazioni segnate come Unfeasible sono quelle che non rispettano il vincolo sulla minima deportanza ($\Delta C_L < 15\% C_L$).

Le configurazioni segnate come Error sono quelle per cui è stata riscontrata l'intersezione.

Dalla Figura 6.1 si nota come le configurazioni generate cerchino di addensarsi verso valori negativi di DV1 e DV2 (per i quali diminuisce il C_D) ma così facendo viene persa molta deportanza e ci si avvicina sempre più alla condizione di intersezione

Si riporta di seguito la mappa a bolle delle configurazioni generate in funzione dei parametri di input DV1 e DV2.

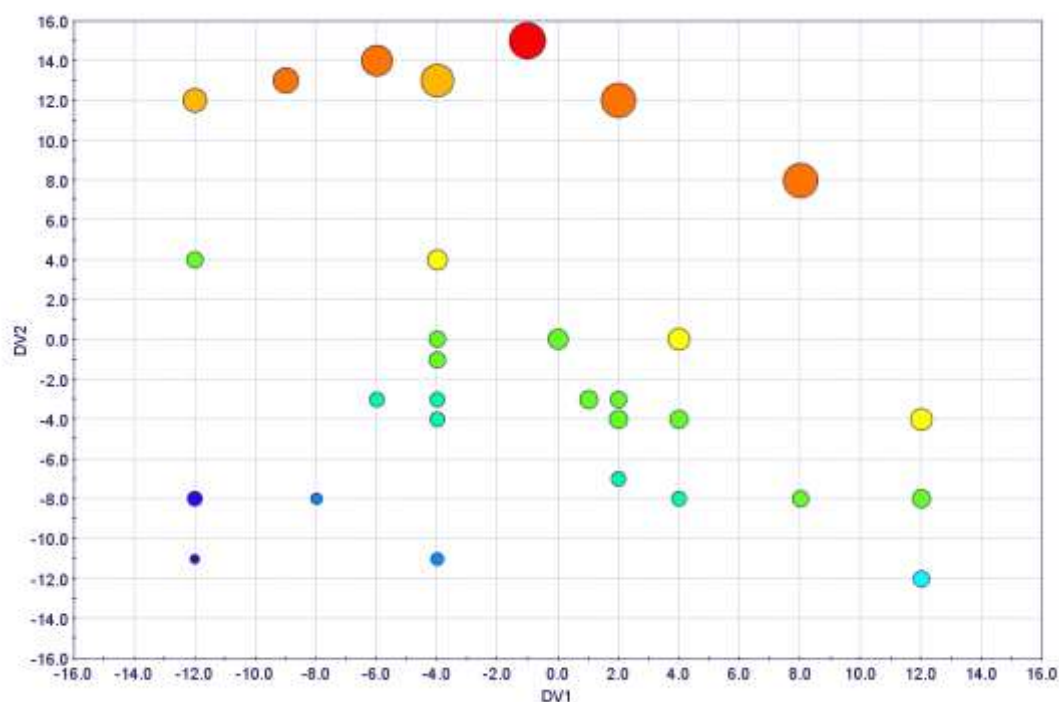


Figura 6.2: Bubble chart DV1 DV2 C_D E

La dimensione delle bolle è proporzionale al C_D mentre la scala cromatica va da blu a rosso all'aumentare dell'Efficienza.

Dalla Figura 6.2 si nota come il C_D diminuisca avvicinandosi a valori negativi dei parametri di input e che questo, oltre a comportare una diminuzione di deportanza comporti anche una diminuzione dell'efficienza.

Si riporta l'andamento del C_D durante l'ottimizzazione.

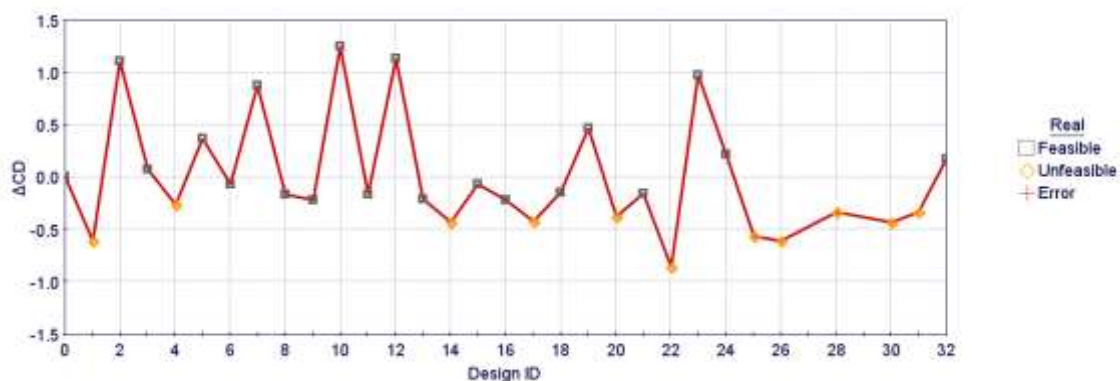


Figura 6.3: History chart C_D

I valori sull'asse verticale sono espressi in punti.

Dalla Figura 6.3 si nota come ci sia la tendenza a generare configurazioni con C_D sempre più basso.

Di seguito si riporta la mappa delle configurazioni generate in termini dei parametri di output C_D e C_L .

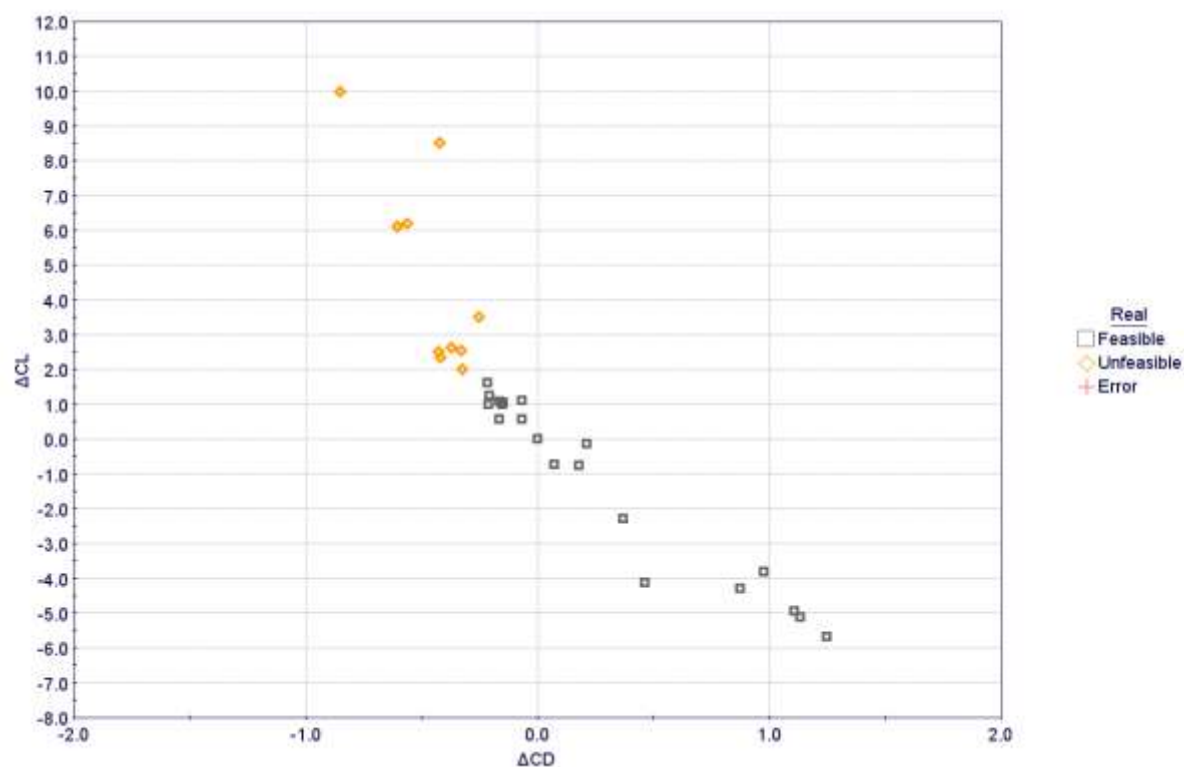


Figura 6.4: Scatter chart $C_D C_L$

I valori nei grafici sono espressi in punti. Notare la diversa scala dei due assi.

Dalla Figura 6.4 si nota come le variazioni di C_L siano molto più grandi di quelle di C_D .

Si riportano di seguito i grafici RSM 3D che riportano i valori dei coefficienti aerodinamici (C_D C_L C_M E Bal) in funzione di DV1 e DV2.

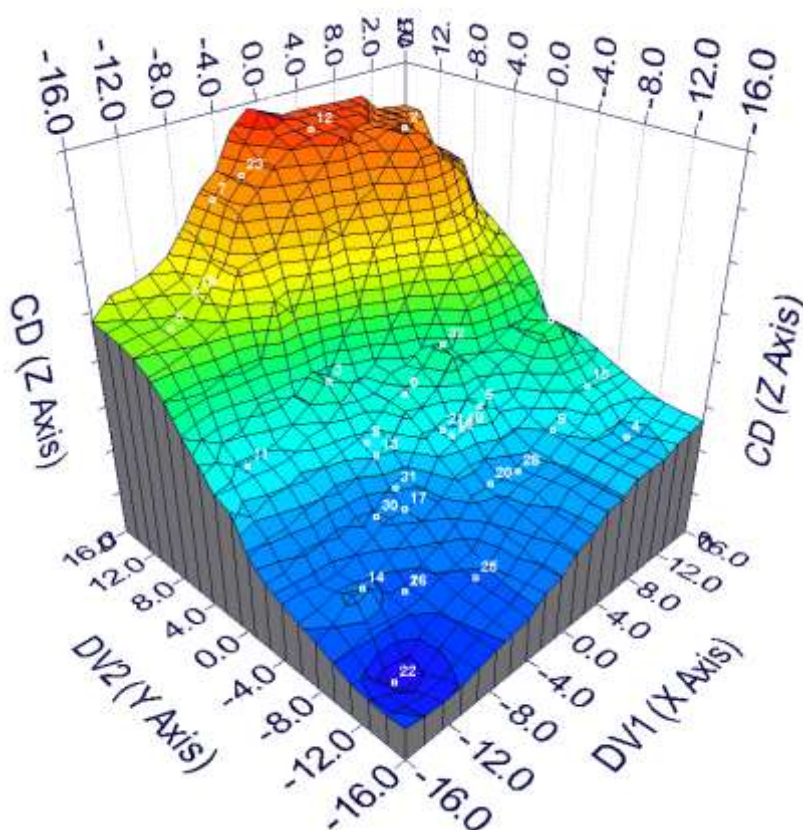


Figura 6.5: RSM 3D chart C_D

Dalla Figura 6.5 si nota che C_D diminuisce al diminuire di DV1 e DV2 ma maggiormente con DV2. Questo si spiega con il fatto che DV2 è più direttamente collegato all'abbassamento del tip dello spoiler rispetto a DV1 e quindi comporta, per via di una maggior riduzione della scia, una maggiore diminuzione di resistenza.

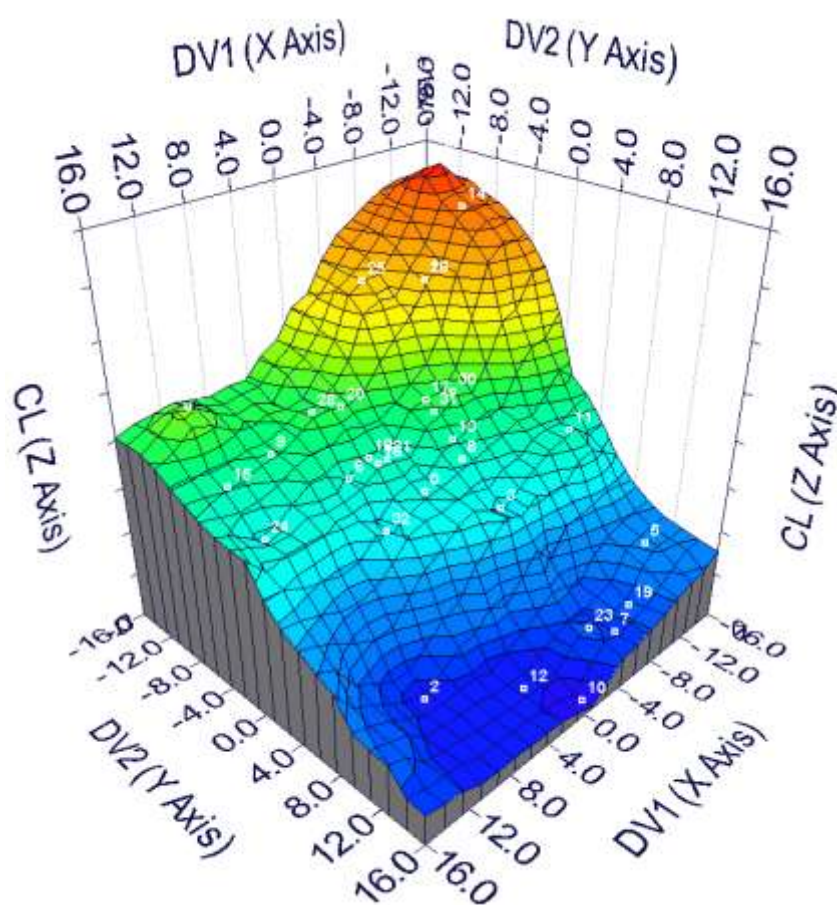


Figura 6.6: RSM 3D chart C_L

Nota: assi ruotati di 180° rispetto alla Figura 6.5.

Dalla Figura 6.6 si nota che C_L aumenta (diminuzione di deportanza) al diminuire di DV1 e DV2 ma maggiormente con DV2.

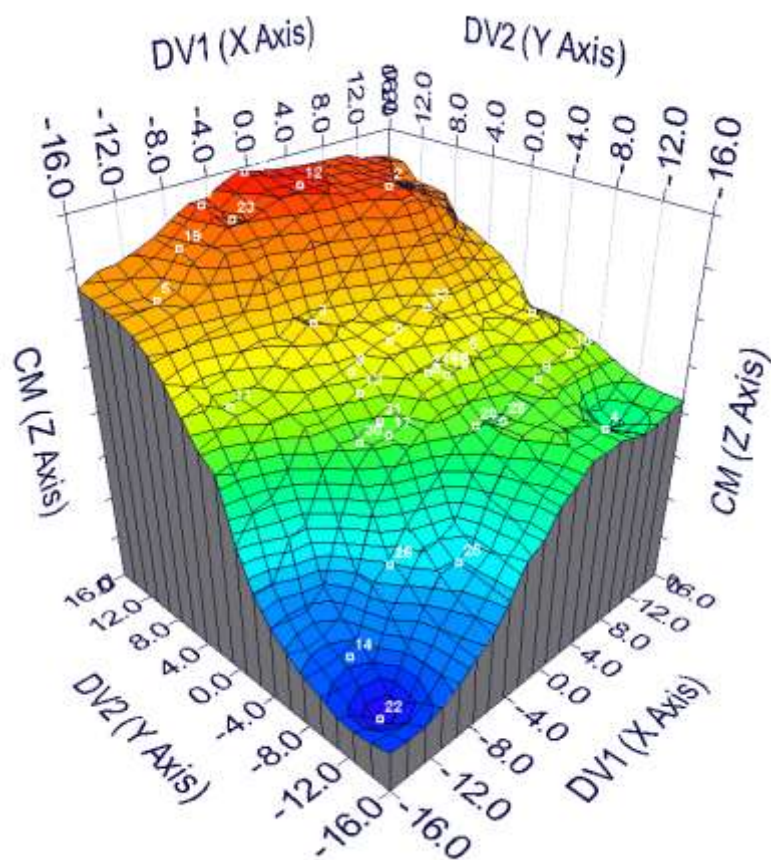


Figura 6.7: RSM 3D chart C_M

Dalla Figura 6.7 si nota che C_M diminuisce al diminuire di $DV1$ e $DV2$ ma maggiormente con $DV2$.

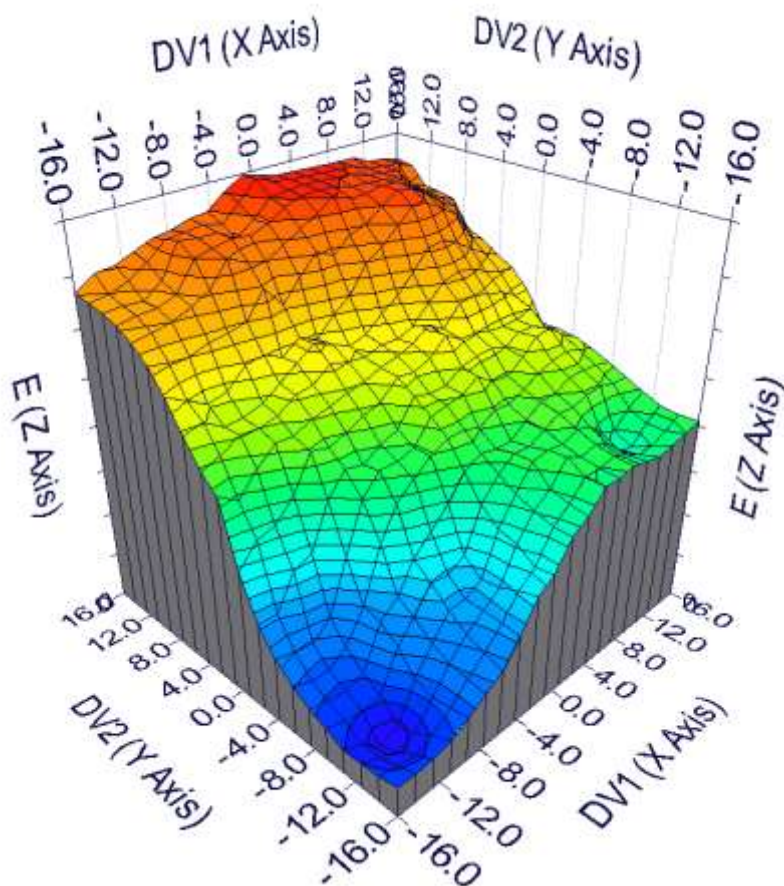


Figura 6.8: RSM 3D chart efficienza

Dalla figura 6.8 si nota che l'Efficienza diminuisce al diminuire di DV1 e DV2 ma maggiormente con DV2 a causa di un maggiore aumento di C_L .

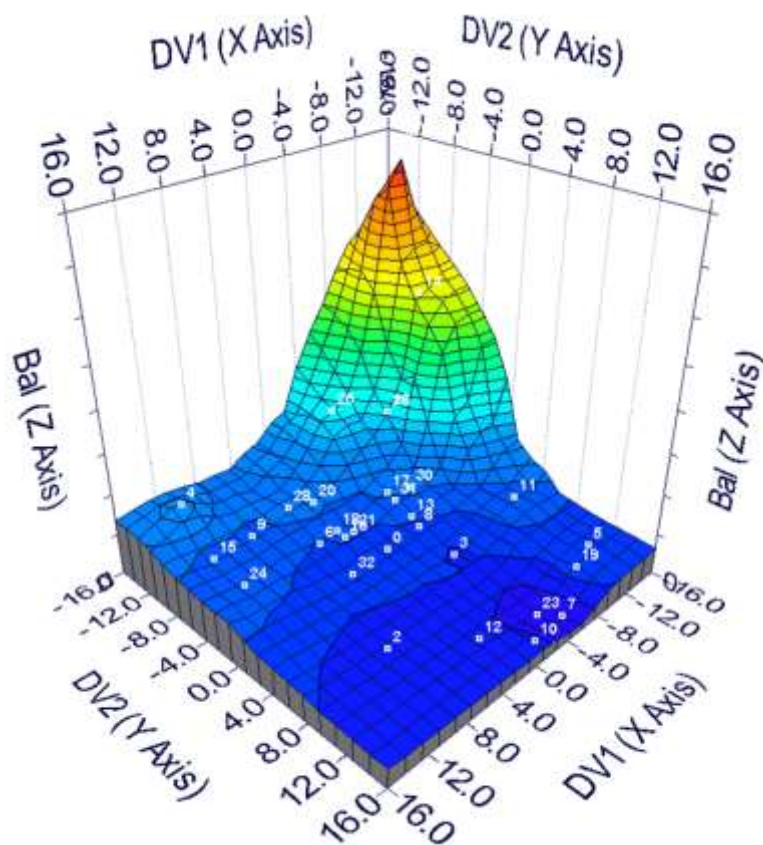


Figura 6.9: RSM 3D chart bilanciamento

Nota: assi ruotati di 180° rispetto alle Figure 6.5 6.7 e 6.8.

Dalla Figura 6.9 si nota che il bilanciamento aumenta al diminuire di DV1 e DV2 ma maggiormente con DV2.

L'aumento del bilanciamento all'abbassarsi dello spoiler si spiega con la diminuzione di carico sul posteriore che comporta un aumento della percentuale di carico sull'anteriore.

Si riportano di seguito nella Tabella 6.1 i risultati per le configurazioni generate in termini di variazioni (in punti) dei coefficienti rispetto alla configurazione originale DV1=0, DV2=0.

<ID>	DV1	DV2	ΔC_D	ΔC_L	ΔC_M	ΔE	ΔB_{al}
0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	-8	-8	-0,61	6,13	-6,22	-16,75	13,35
2	8	8	1,11	-4,94	4,23	12,12	-1,22
3	-4	4	0,07	-0,72	0,75	1,93	-1,05
4	12	-12	-0,26	3,55	-3,94	-9,73	8,85
5	-12	12	0,37	-2,30	1,69	5,94	0,91
6	4	-4	-0,07	0,56	-0,63	-1,49	1,22
7	-6	14	0,87	-4,28	4,38	10,68	-4,67
8	-4	0	-0,17	0,58	-0,57	-1,44	0,67
9	8	-8	-0,22	1,61	-1,68	-4,27	2,77
10	-1	15	1,25	-5,67	5,06	13,89	-2,29
11	-12	4	-0,17	1,08	-1,27	-2,84	2,73
12	2	12	1,13	-5,12	4,48	12,58	-1,71
13	-4	-1	-0,21	1,24	-1,25	-3,25	1,71
14	-12	-8	-0,43	8,56	-9,31	-23,80	33,70
15	12	-8	-0,07	1,11	-1,22	-3,04	2,25
16	2	-3	-0,21	1,00	-1,02	-2,55	1,50
17	-4	-4	-0,42	2,39	-2,42	-6,27	3,70
18	2	-4	-0,15	1,06	-1,09	-2,81	1,63
19	-9	13	0,46	-4,13	3,19	10,87	0,69
20	2	-7	-0,38	2,66	-2,72	-7,08	4,47
21	1	-3	-0,15	0,99	-1,01	-2,60	1,47
22	-12	-11	-0,86	10,02	-11,34	-27,75	57,38
23	-4	13	0,98	-3,82	3,71	9,25	-3,23
24	12	-4	0,21	-0,14	-0,14	0,14	1,64
25	-4	-11	-0,57	6,22	-6,38	-17,04	14,45
26	-8	-8	-0,61	6,13	-6,22	-16,75	13,35
27	-14	12	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
28	4	-8	-0,34	2,57	-2,65	-6,87	4,42
29	-14	0	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
30	-6	-3	-0,43	2,56	-2,58	-6,74	3,92
31	-4	-3	-0,33	2,05	-2,07	-5,39	3,06
32	4	0	0,18	-0,77	0,75	1,93	-0,78

Tabella 6.1: Risultati configurazioni generate

Le configurazioni evidenziate in giallo sono quelle per cui si ha, a seguito della modifica dello spoiler, una riduzione di deportanza maggiore del 15%.

Le configurazioni rosse sono quelle per cui c'è stata intersezione tra il MORPID e la superficie del supporto del radiatore dell'olio.

La configurazione verde è quella per cui si ha minimo C_D tra quelle che rispettano il vincolo sulla perdita di deportanza detto in precedenza.

Analizzando i risultati riportati nella Tabella 6.1 si nota come le configurazioni con spoiler alzato abbiano tutte valori più alti di C_D rispetto all'originale, mentre quelle con spoiler abbassato abbiano valori di C_D più bassi.

Esistono configurazioni che comportano una diminuzione di C_D fino a 0.86 punti (circa il 2.5 %) ma accompagnate da una diminuzione di deportanza fino a 10 punti (circa il 70 %) e di efficienza fino a 28 punti (circa il 50%).

Analogamente esistono configurazioni con DV1 e DV2 positive (spoiler alzato) che comportano aumento di C_D fino a 1 punto (circa il 3%) accompagnate da diminuzione di C_L (aumento di deportanza) fino a 5 punti (circa il 30%).

SCELTA CONFIGURAZIONE OTTIMA

Si sceglie come configurazione ottima quella con minimo C_D tra quelle che rispettano il vincolo per cui la deportanza non può scendere più del 15%.

La configurazione ottima è dunque la n° 31 (configurazione evidenziata in verde nella Tabella 6.1) per cui:

$$DV1 = -4 ; \quad DV2 = -3$$

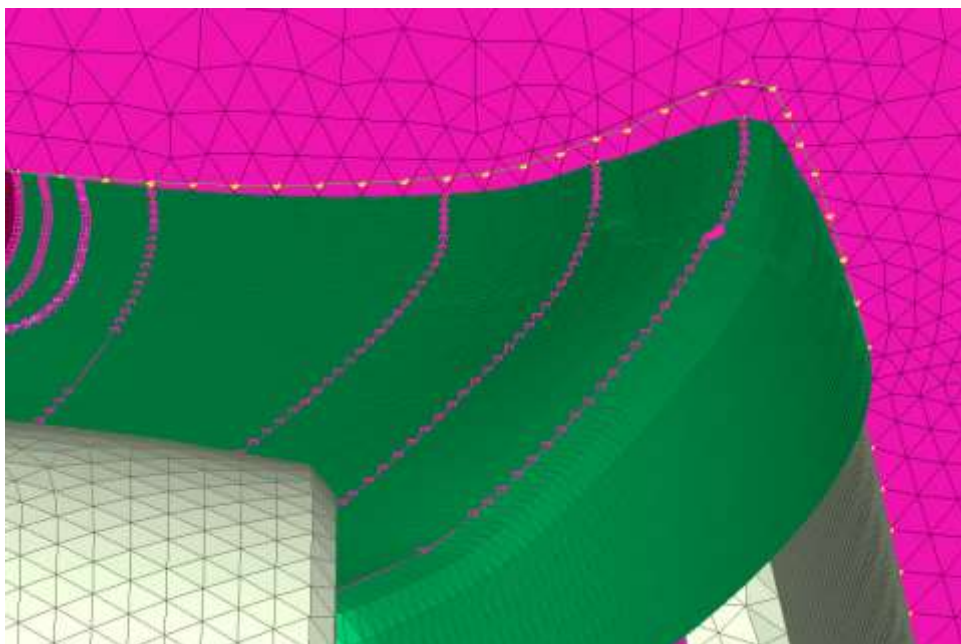


Figura 6.10: MORPID modificato

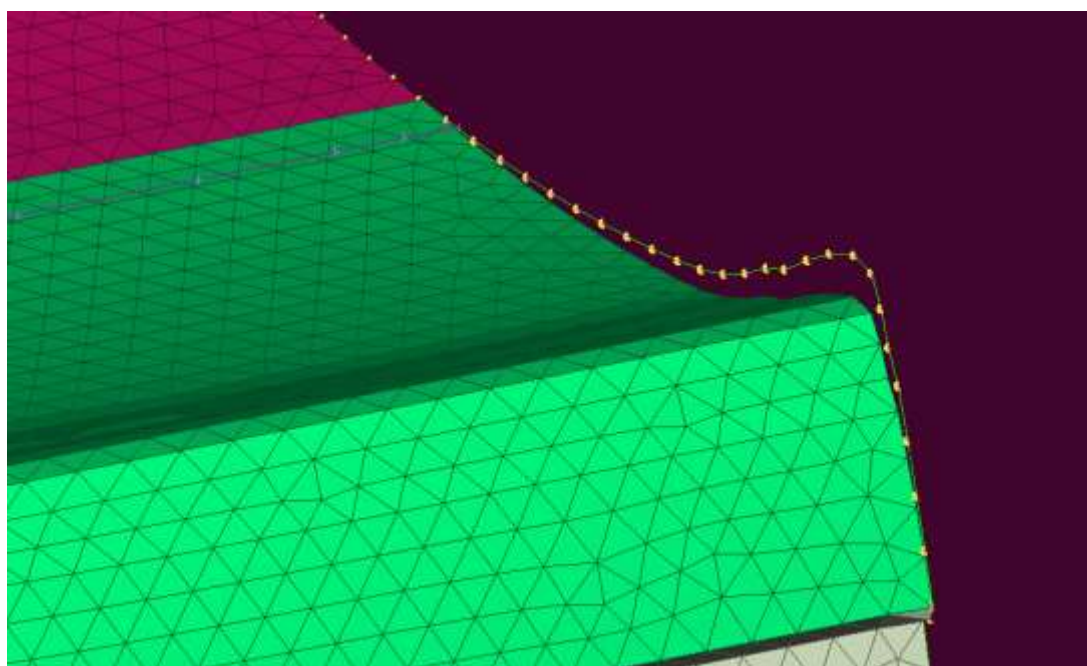


Figura 6.11: Spoiler modificato

La linea verde con i pallini gialli sul piano di simmetria rappresenta la posizione dell'intersezione col piano di simmetria dello spoiler originale.

ANALISI DELLA CONFIGURAZIONE OTTIMA

Per valutare con maggiore accuratezza la variazione dei coefficienti della configurazione ottima è stata effettuata la simulazione per tale configurazione con le impostazioni GR106 descritte nel capitolo Analisi di Sensibilità per la generazione della mesh, cioè con circa 34 milioni di celle di volume.

Ragionando in termini di variazione dei coefficienti si riportano di seguito nella Tabella 6.2 le variazioni dei coefficienti (in punti):

GR110 - della configurazione ottima rispetto a quella originale entrambe calcolate con le impostazioni GR110 per la generazione della griglia di volume, cioè entrambe con dominio da 21 milioni di celle (allo stesso modo di come sono stati calcolati nell'ottimizzazione)

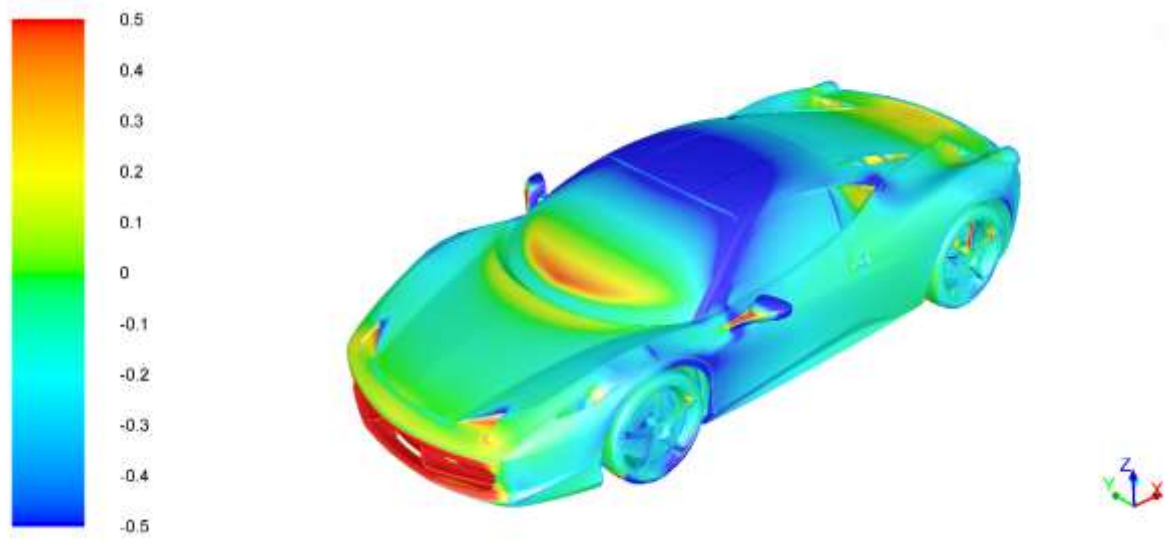
GR106 - della configurazione ottima rispetto a quella originale entrambe calcolate con le impostazioni GR106 per la generazione della griglia di volume (cioè entrambe con dominio da 34 milioni di celle)

	ΔC_D	ΔC_L	ΔC_M	ΔE	ΔBal	$\Delta \delta C_D^{rad}$	$\Delta \delta C_L^{rad}$	$\Delta \delta C_M^{rad}$
GR110 (21 mil) (ottimizzazione)	-0.33 ($\approx 1\%$)	+2.05	-2.07	-5.39	+3.06	-0.08	-0.08	-0.03
GR106 (34 mil) (sim. finale)	-0.27 ($\approx 0.8\%$)	+2.45	-2.13	-6.77	+2.12	-0.06	+0.01	-0.02

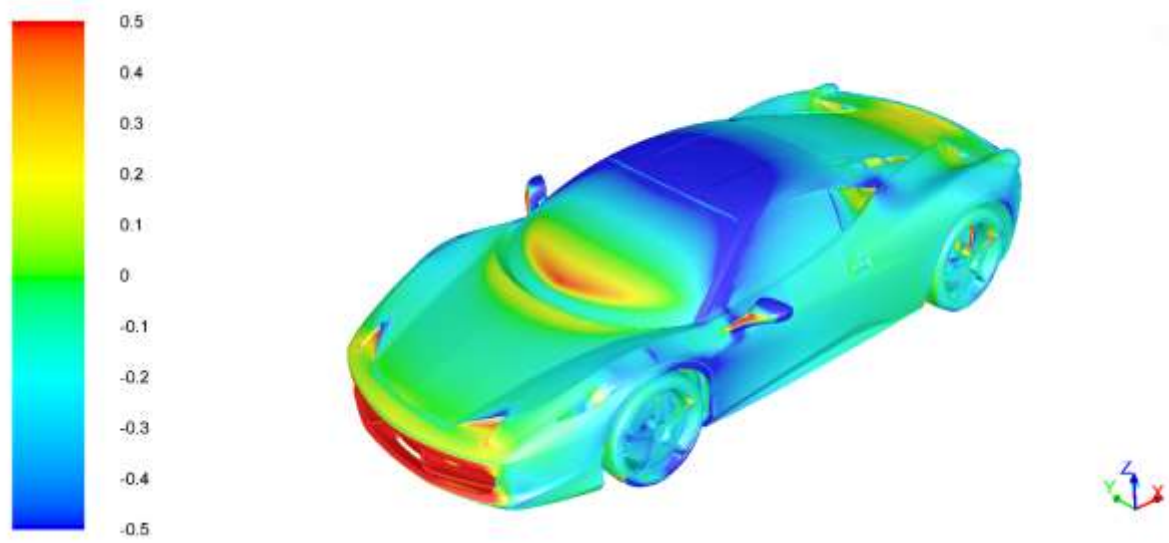
Tabella 6.2: Confronto risultati con diverso numero di celle

Dalla Tabella 6.2 si nota come i risultati dell'ottimizzazione per la configurazione GR106 non siano troppo discosti da quelli della configurazione GR110, utilizzata nell'ottimizzazione, che ha un minor numero di celle.

Sono di seguito riportate le immagini estratte da Fluent® relative ai risultati della simulazione CFD della vettura originale e di quella ottima.

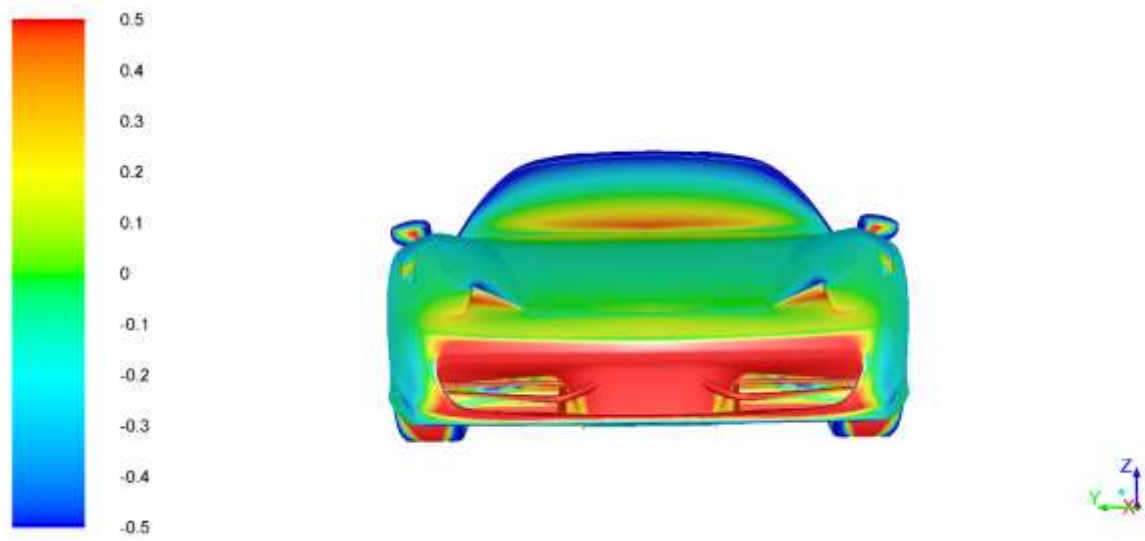


Vettura originale

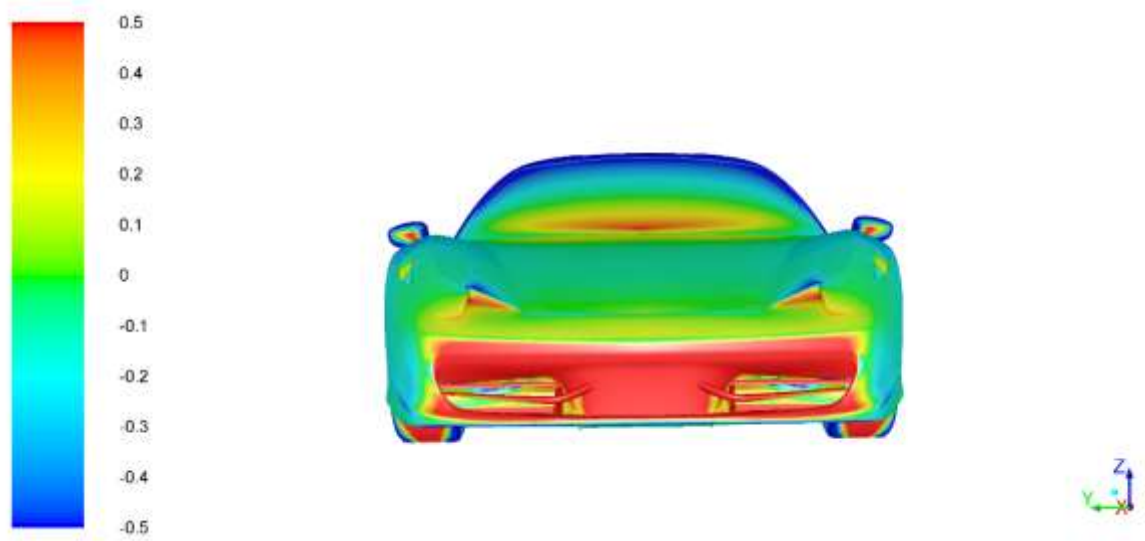


Vettura modificata

Figura 6.12: C_p sulla vettura (vista di 3/4)

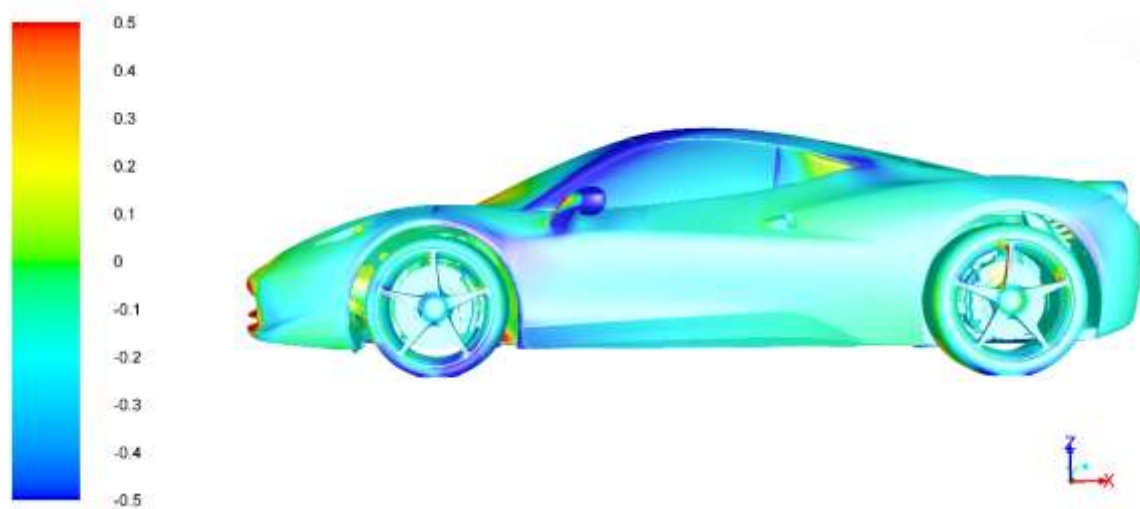


Vettura originale

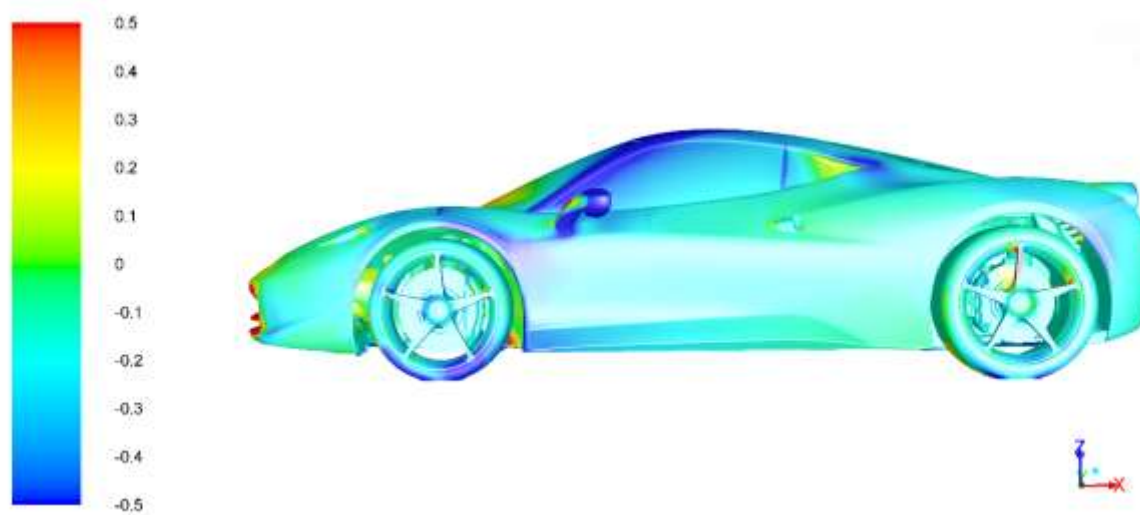


Vettura modificata

Figura 6.13: C_p sulla vettura (vista frontale)

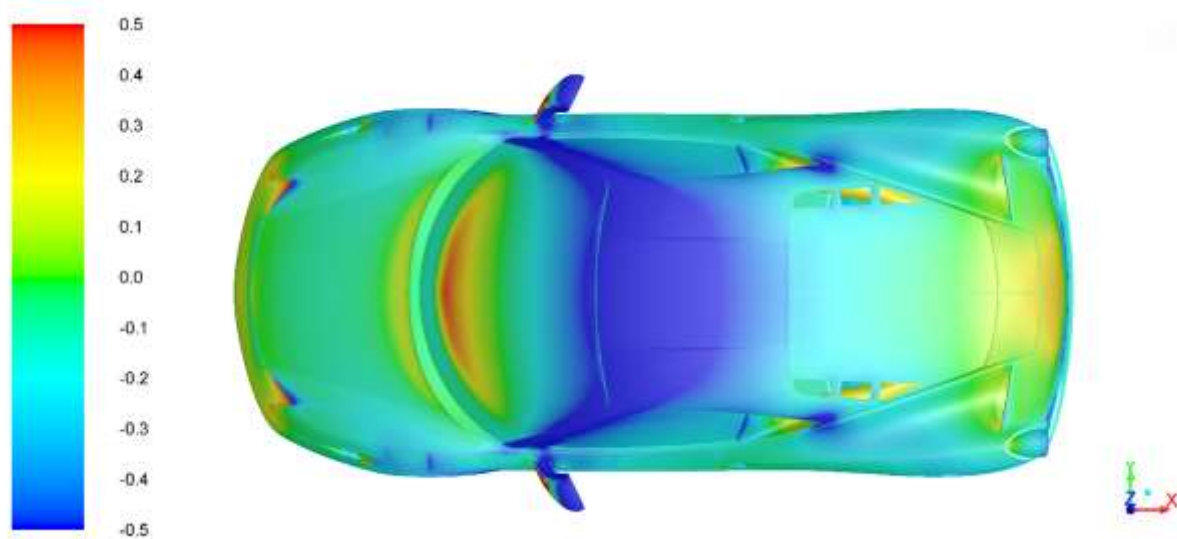


Vettura originale

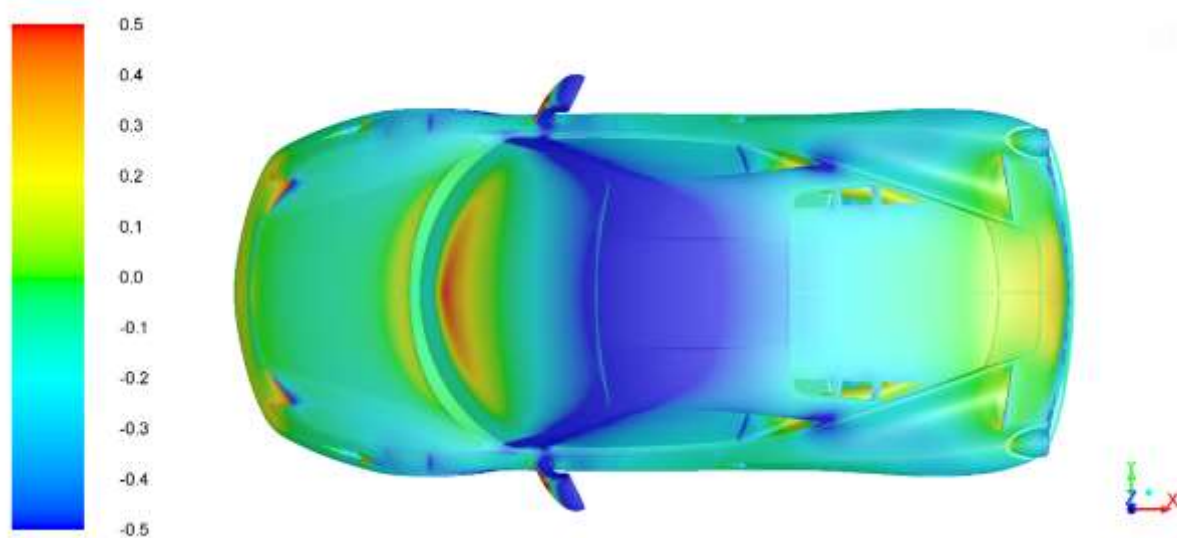


Vettura modificata

Figura 6.14: C_p sulla vettura (vista laterale)

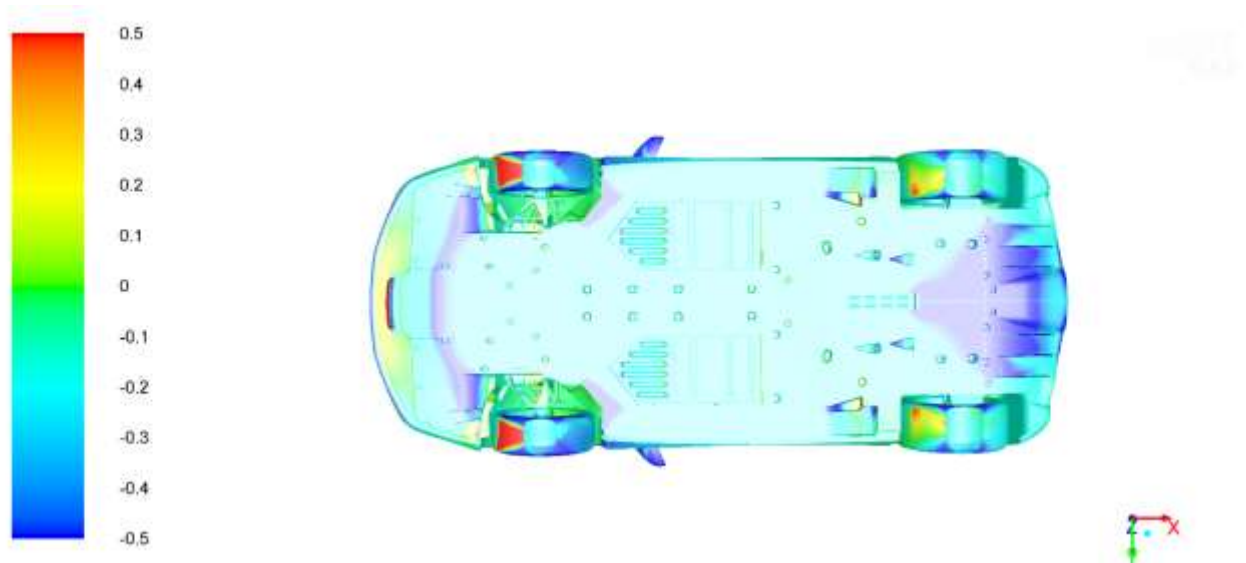


Vettura originale

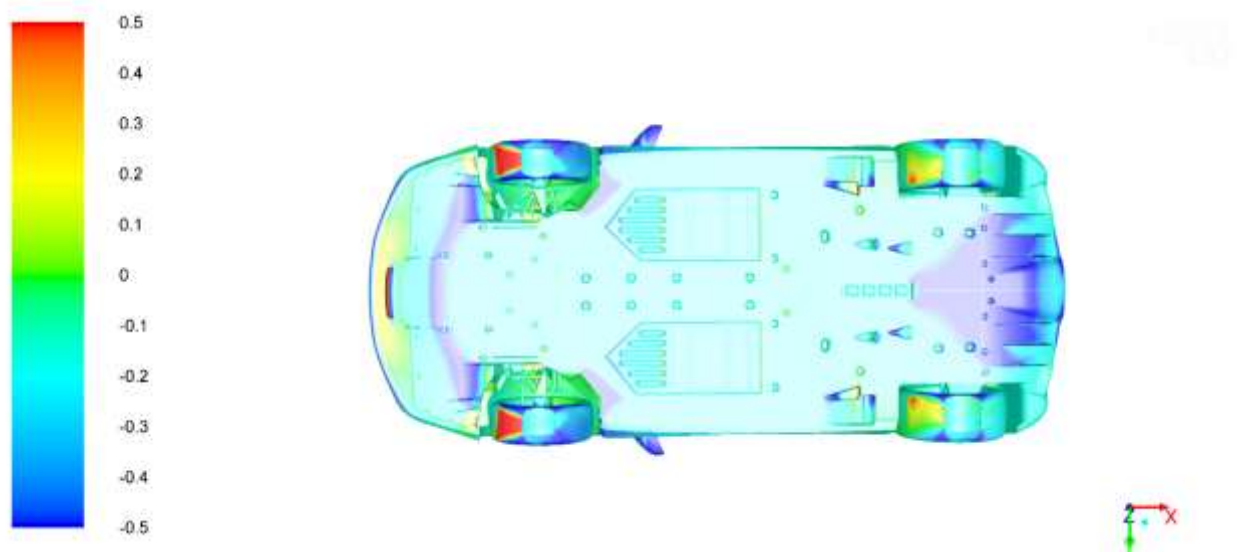


Vettura modificata

Figura 6.15: C_p sulla vettura (vista dall'alto)



Vettura originale



Vettura modificata

Figura 6.16: C_p sulla vettura (vista dal basso)

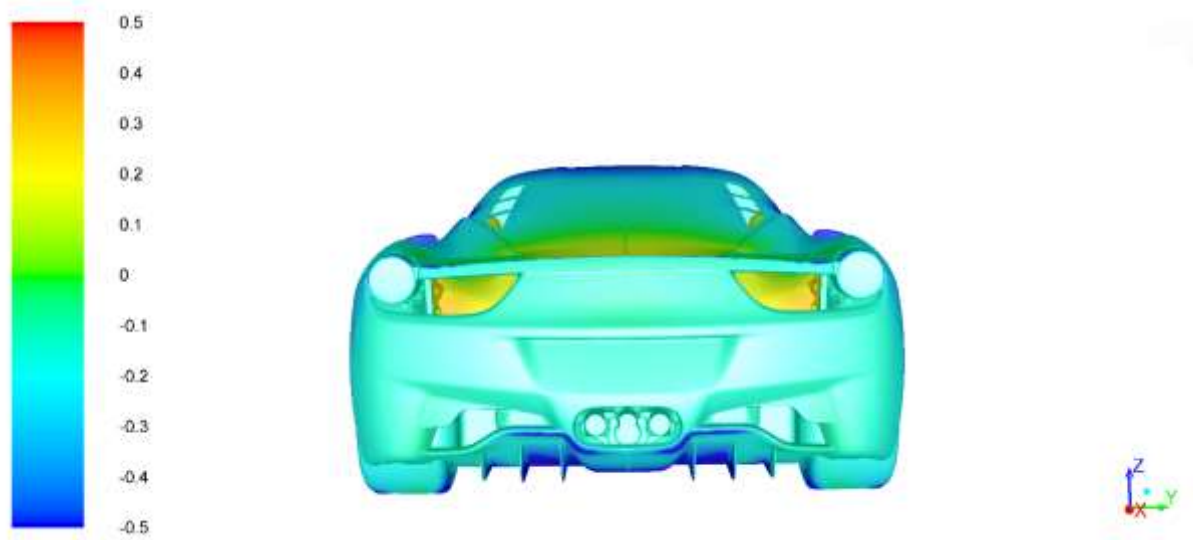
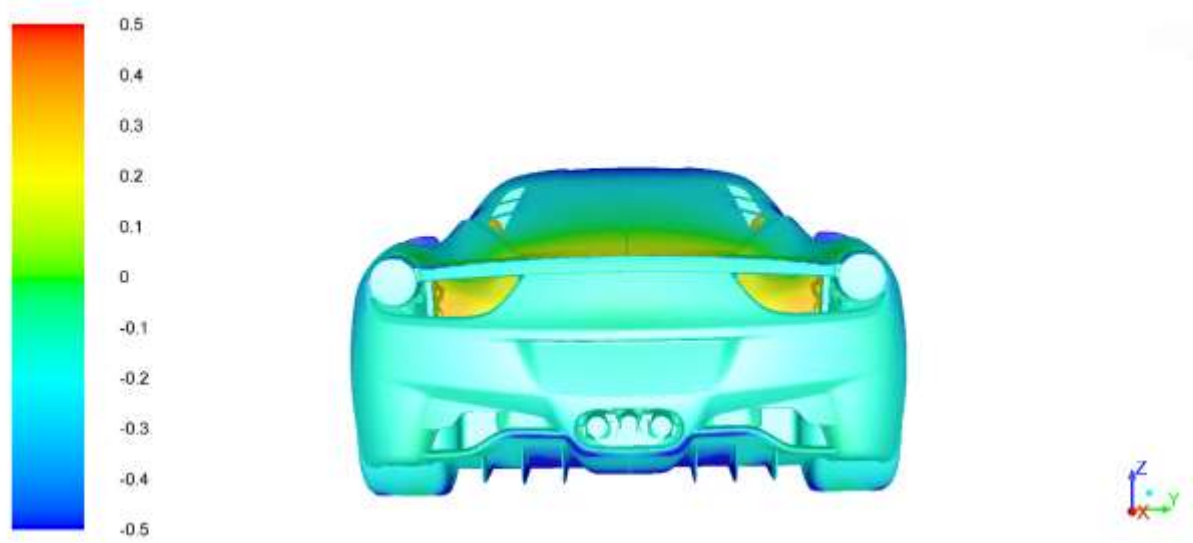
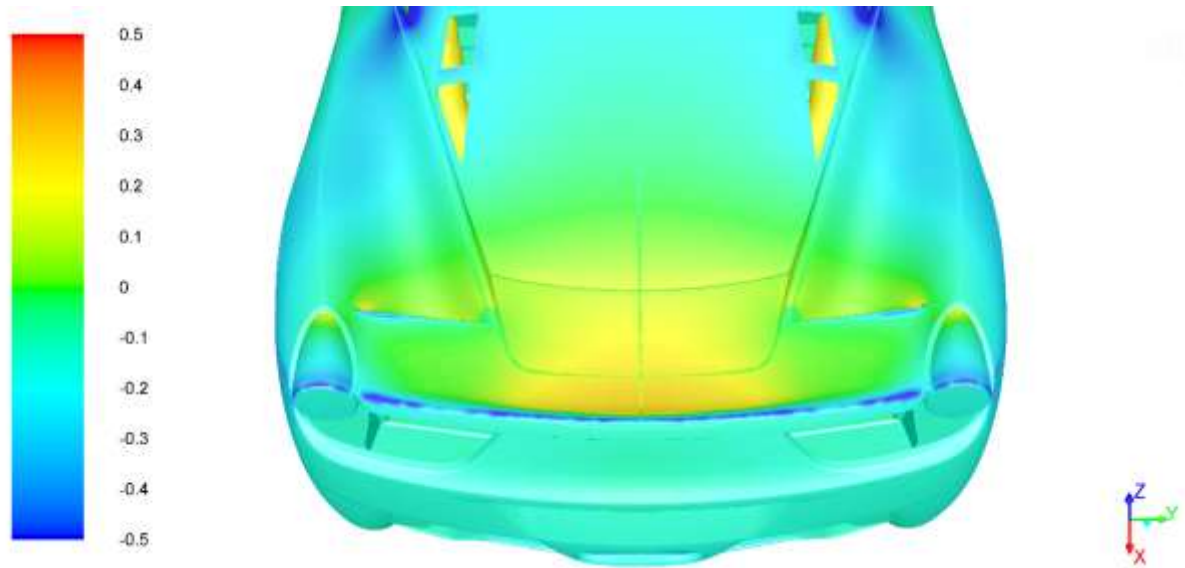
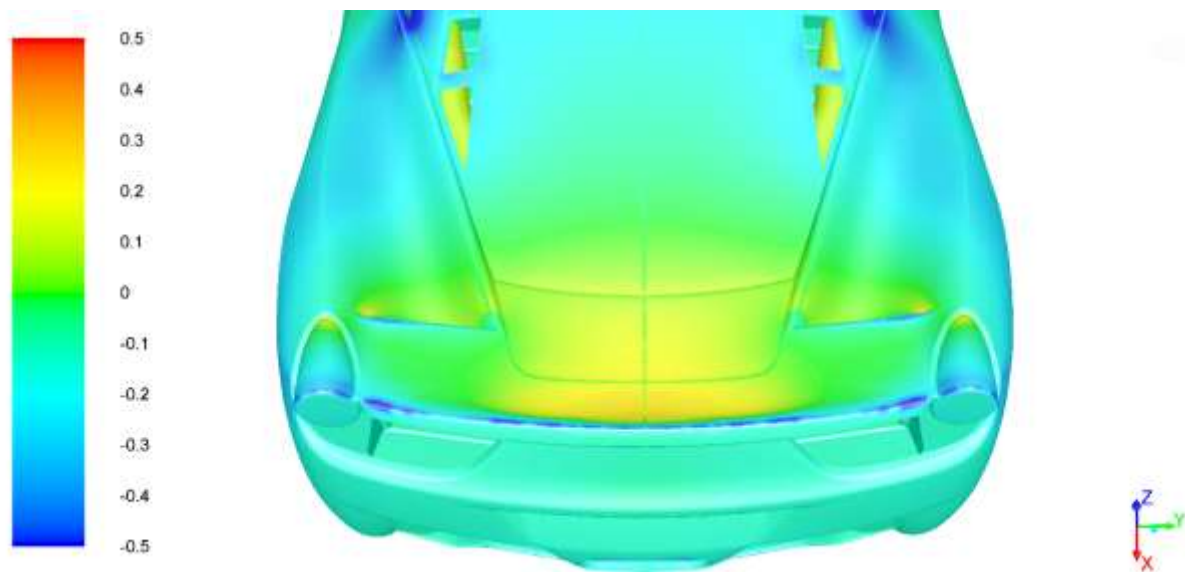


Figura 6.17: C_p sulla vettura (vista posteriore)

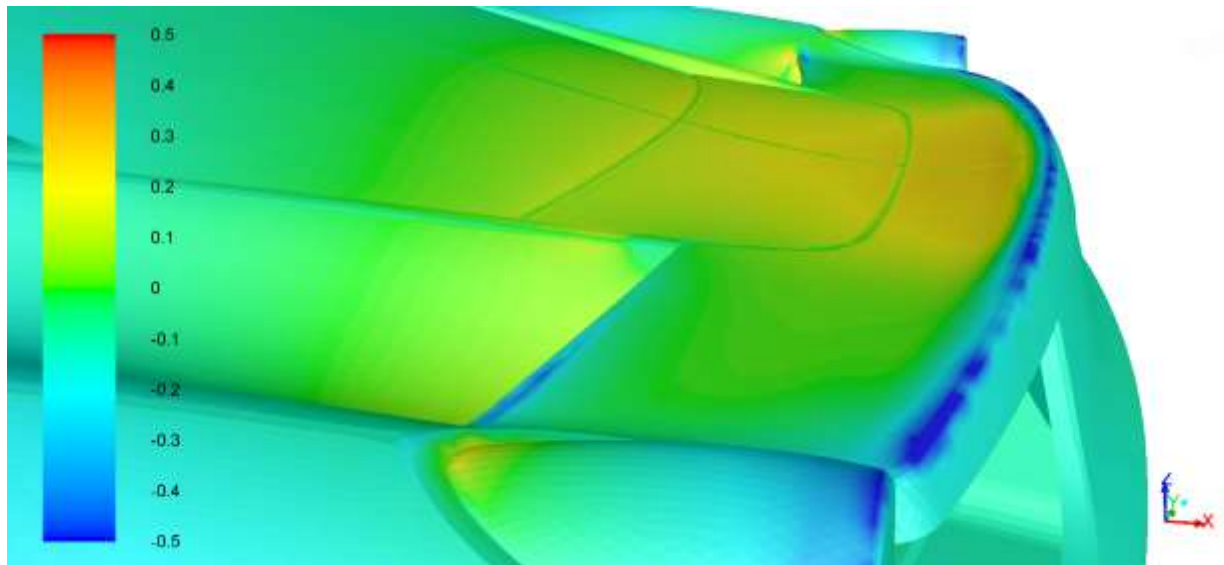


Vettura originale

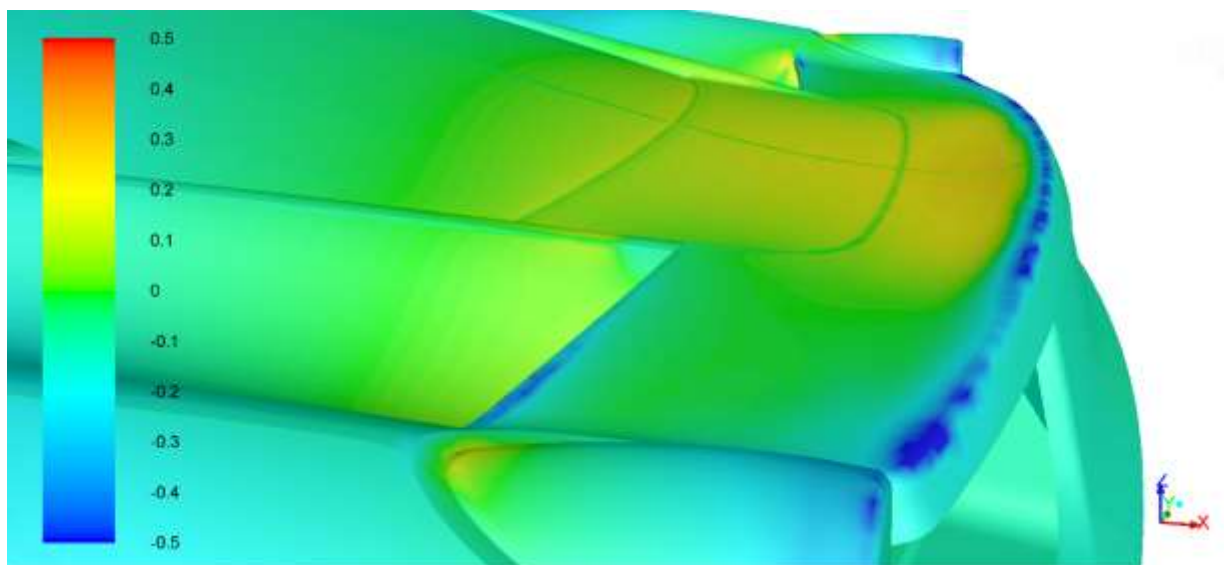


Vettura modificata

Figura 6.18: C_p sul MORPID (vista dall'alto)



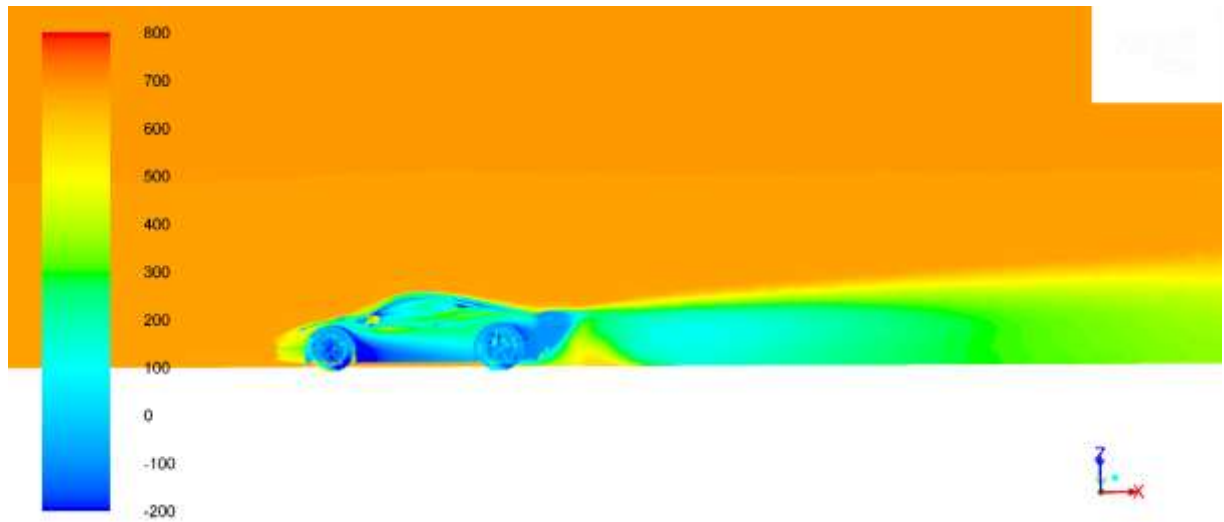
Vettura originale



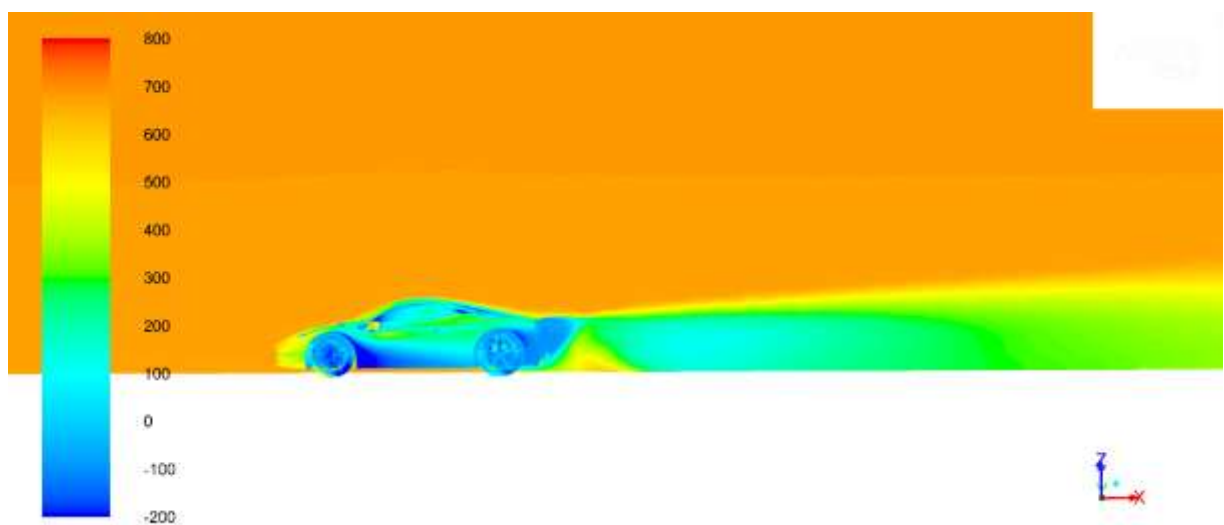
Vettura modificata

Figura 6.19: C_p sul MORPID (vista di 3/4)

Dalle Figure 6.18 e 6.19 si nota la diminuzione di C_p sullo MORPID che si ha tra la configurazione originale e quella modificata. Questo spiega il perché della diminuzione di deportanza.

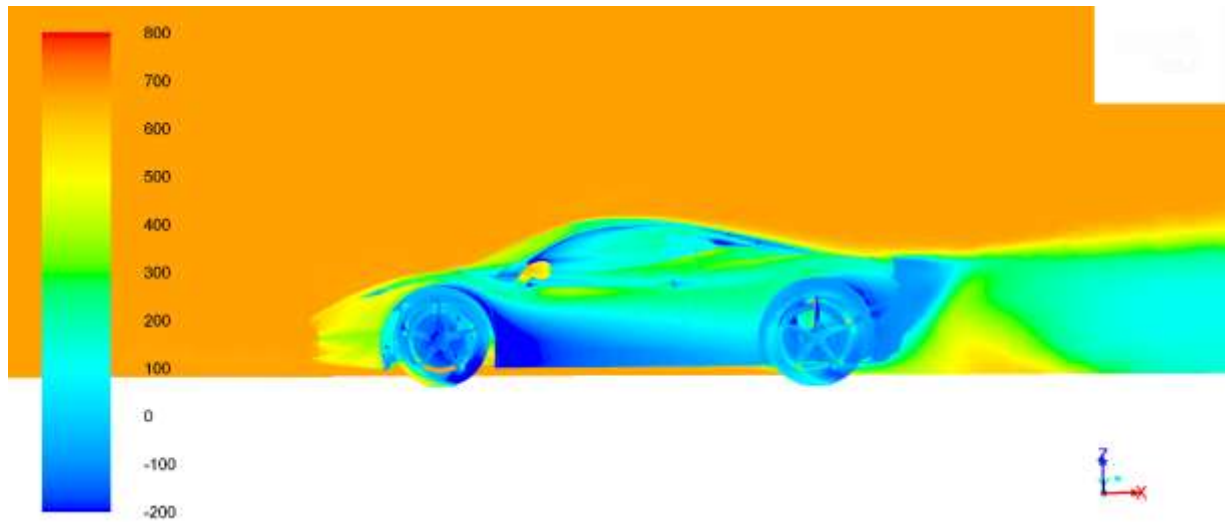


Vettura originale

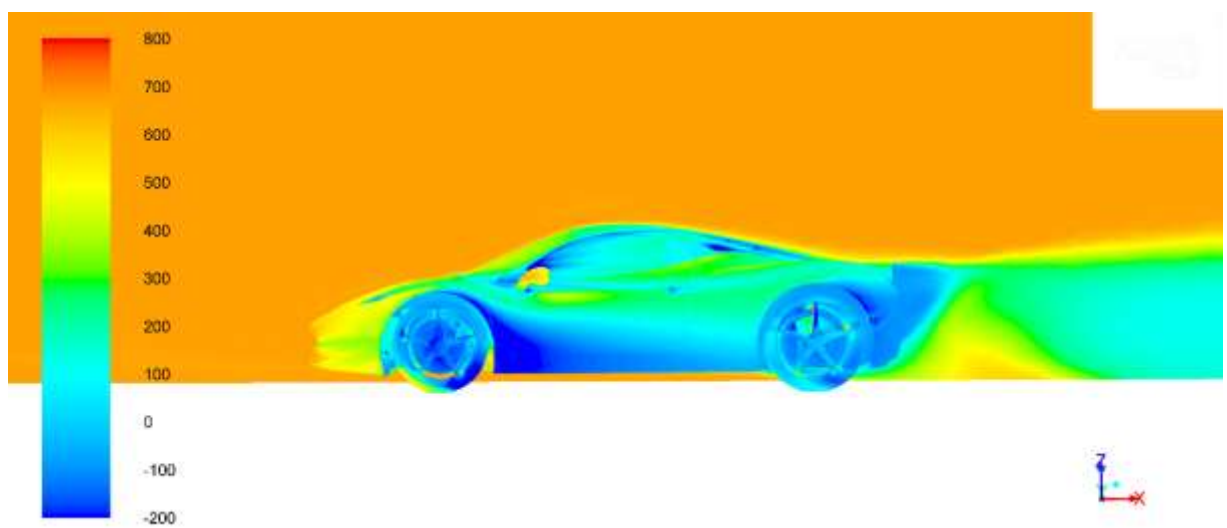


Vettura modificata

Figura 6.20: Pressione totale sul piano di simmetria (Pa)



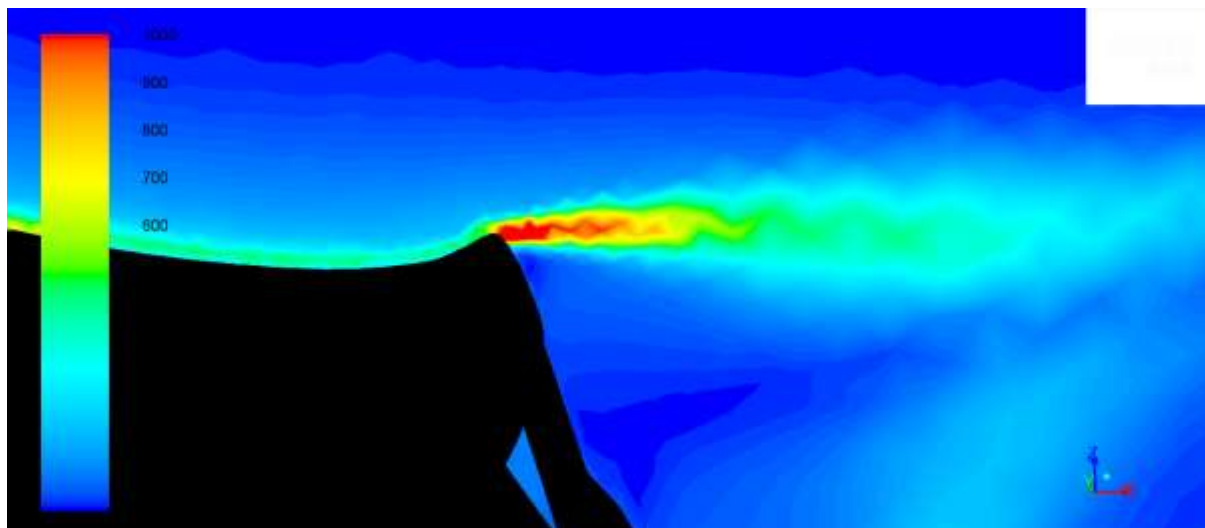
Vettura originale



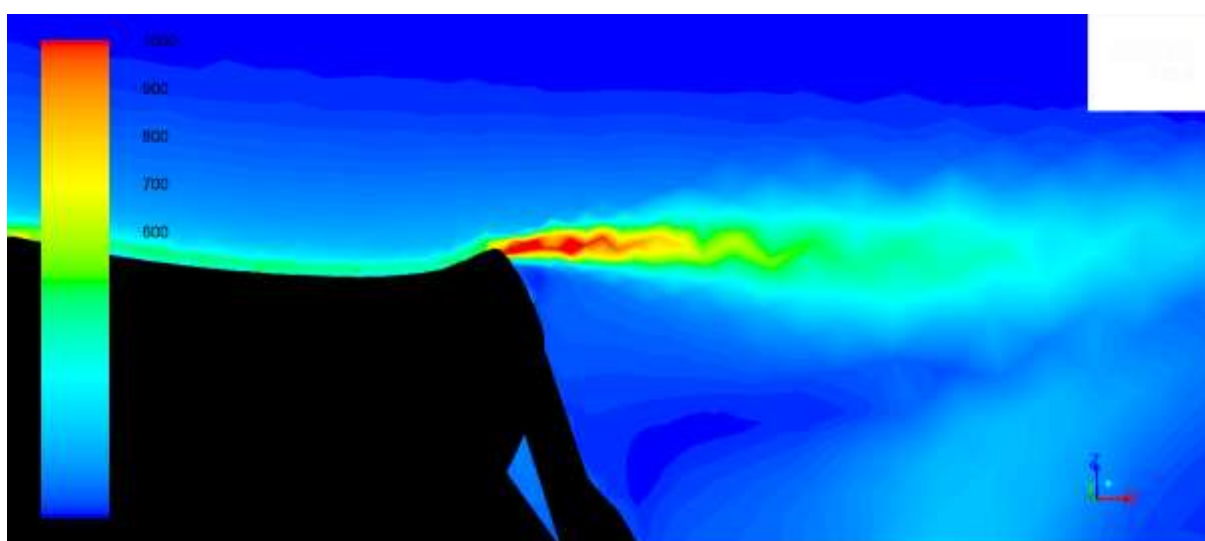
Vettura modificata

Figura 6.21: Pressione totale sul piano di simmetria zona auto (Pa)

Dalle figure 6.20 e 6.21 si nota la minore altezza della scia tra la vettura originale e quella modificata. Questo è in accordo con l'abbassamento di C_D .



Vettura originale



Vettura modificata

Figura 6.22: Modulo delle vorticità sul piano di simmetria zona MORPID (s^{-1})

Dalla Figura 6.22 si nota la diminuzione di intensità del vortice che si stacca dallo spoiler tra la vettura originale e quella modificata.

Capitolo 7: Conclusioni

CONCLUSIONI

In questo lavoro di tesi è stata messa a punto una procedura di ottimizzazione aerodinamica per lo spoiler della Ferrari 458 Italia.

È stata fatta l'analisi di tutti gli strumenti che ANSA 15[®] mette a disposizione per la modifica della geometria (morphing) ed è stata valutata per ciascuno strumento l'attitudine all'automatizzazione.

Sono stati creati gli script di ANSA[®] per l'automatizzazione della procedura di morphing.

Sono stati creati i Journal di Fluent[®] per la generazione della mesh e per l'impostazione della soluzione del problema fluidodinamico.

È stato creato il flusso logico delle operazioni su modeFRONTIER[®].

È stata condotta un'analisi di sensibilità al livello di infittimento della griglia per ridurre i tempi di simulazione.

È stata eseguita l'ottimizzazione in parte sui computer del dipartimento di aerodinamica applicata ed in parte sul Cluster del INFN di Pisa.

È stata fatta l'Analisi dei risultati ottenuti tramite modeFRONTIER[®].

È stata scelta la configurazione ottima tenendo conto anche del requisito sulla deportanza.

Sono stati rivalutati i coefficienti per la configurazione ottima con un dominio con maggior numero di celle per aumentare l'accuratezza della soluzione.

È stato fatto un confronto tramite visualizzazioni in Fluent[®] tra la vettura originale e quella modificata per giustificare le variazioni dei coefficienti aerodinamici.

Il risultato dell'ottimizzazione è:

$$\Delta C_D = -0.27 \text{ punti } (\sim 0.8\%)$$

$$\Delta C_L = +2.45 \text{ punti } (\sim 15\%)$$

Siamo riusciti a ridurre la resistenza modificando lo spoiler ma solo con un'elevata perdita di carico.

Siamo riusciti a ridurre anche maggiormente la resistenza fino al 2% ma a discapito di una perdita di carico ancora maggiore.

Sono state inoltre trovate configurazioni che con un piccolo aumento di resistenza hanno dato valori di carico fino al 30% maggiori.

Capitolo 8: Sviluppi Futuri

In futuro si potrebbe realizzare una procedura di ottimizzazione come quella descritta ma multi-obiettivo imponendo come obiettivi da minimizzare sia C_D che C_L ; si potrebbe così costruire un fronte di Pareto di configurazioni ottime per entrambi gli obiettivi.

Si potrebbe realizzare morphing di altre parti dell'auto o di più parti in contemporanea utilizzando un maggior numero di parametri (necessità di tempi di calcolo maggiori).

Una procedura analoga a quella descritta si potrebbe applicare ad auto da corsa a stagione iniziata, impostando il morphing nelle zone ritenute responsabili di perdita di prestazioni, per migliorare le caratteristiche aerodinamiche. Questo comporta la necessità di utilizzare mesh più fitte, con conseguente necessità di computer molto più potenti per non aumentare i tempi di calcolo, e di rispettare un maggior numero di vincoli.

Si potrebbe infine applicare questa procedura anche per altri veicoli, come barche, piccoli aerei o elicotteri, per i quali anche un piccolo miglioramento aerodinamico possa comportare considerevoli vantaggi.

Bibliografia

1. G. Lombardi: Dispense del corso di Aerodinamica degli Aeromobili, Dipartimento di Ingegneria Aerospaziale, Università di Pisa, 2013;
2. G. Buresti: Dispense dei corsi di Aerodinamica Sperimentale ed Aerodinamica Applicata, Dipartimento di Ingegneria Aerospaziale, Università di Pisa, 2013;
3. BETA CAE Systems S.A.: ANSA 15.x.x User Manual, 2013.
4. ANSYS, inc: ANSYS FLUENT User's Guide, version 14, 2011.
5. ANSYS, inc: ANSYS FLUENT Text Command List, version 14, 2011.
6. ESTECO: modeFRONTIER 4 User Manual, 2010.
7. Michele Corsetti: Tesi di Laurea, "Metodologia di ottimizzazione aerodinamica per l'estrattore di una vettura di alte prestazioni", 2007.
8. Nuri David: Tesi di Laurea, "Analisi CFD di un'autovettura in galleria del vento e correlazione con i dati sperimentali", 2008.
9. Matteo Baldacchini e Biagio Magurno: Tesi di Laurea, "Effetti di interferenza in wind-tunnel su una vettura da competizione al variare delle condizioni di prova", 2013.

Ringraziamenti

Il primo ringraziamento va certamente a Nicolò Valigli, mio collega e uno dei migliori studenti di Aerospaziale che si ricordino, in quanto il mio tentativo di stargli dietro, esame dopo esame, mi ha portato ad essere qui oggi come primo laureato del mio anno, prima anche di lui: forse la soddisfazione più grande che abbia mai avuto nella mia vita.

Secondo ringraziamento va a tutti i ragazzi e le ragazze che ho conosciuto a Pisa che in qualche modo mi hanno aiutato, direttamente o indirettamente, a raggiungere questo traguardo.

Ringrazio tutta la mia famiglia per il sostegno economico e morale che mi ha dato in questi 5 anni.

Ringrazio il mio amico e coinquilino Federico per aver sempre reso la casa un posto dove potessi studiare e riposarmi in tranquillità.

Ringrazio mio cugino Giacomo per le battute di pesca estive e per il bel ringraziamento fattomi nella sua tesi di medicina.

Ringrazio mio cugino Silvio per le magiche notti di Champions degli ultimi due anni che abbiamo trascorso insieme.

Ringrazio tutti i Professori che ho avuto dai quali sono sempre riuscito ad imparare moltissime cose, anche oltre il puro insegnamento.

Ringrazio in particolare il Prof. Polito, che va adesso in pensione, per una vita intera trascorsa dedicato all'aerodinamica e il defunto Prof. Villaggio con il quale ho avuto l'onore di fare l'esame di Calcolo delle Variazioni.

Ringrazio il Prof. Lombardi per la Tesi interessante che mi ha assegnato.

Ultimo ma non ultimo ringrazio i ragazzi della galleria per l'aiuto e il supporto che mi hanno dato per permettermi di realizzare questa tesi e di raggiungere questo traguardo.